

Aus der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde im  
Unfallkrankenhaus Berlin –  
Lehrkrankenhaus der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin  
Berlin

DISSERTATION

Otolithenfunktionsstörung nach Cochlea-Implantation

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Gabriela Christina John

aus Bonn

Datum der Promotion: 30.05.2015



Für meine lieben Eltern  
in Dankbarkeit



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstrakt</b> .....	<b>3</b>
<b>I Einleitung</b> .....	<b>5</b>
1 Einführung.....	5
2 Anatomische und physiologische Grundlagen des Innenohrs.....	6
2.1 Die Cochlea.....	6
2.2 Das Vestibularorgan.....	7
2.2.1 Die Bogengänge.....	8
2.2.2 Die Otolithenorgane.....	9
3 Cochlea-Implantat.....	10
3.1 Aufbau und Funktionsweise von Cochlea-Implantaten.....	10
3.2 Indikationen.....	11
3.3 Implantationsverfahren.....	12
3.4 Komplikationen nach Cochlea-Implantationen.....	13
4 Schwindel nach Cochlea-Implantationen.....	14
4.1 Vestibuläre Funktionsdiagnostik.....	14
4.1.1 Subjektiver Schwindel nach Cochlea-Implantation.....	15
4.1.2 Objektivierbarer Schwindel nach Cochlea-Implantation.....	15
4.1.2.1 Canales semicirculares.....	16
4.1.2.2 Sacculus.....	16
4.1.2.3 Utriculus.....	17
4.1.3 Zusammenhang zwischen postoperativ objektivierbarem und subjektivem Schwindel.....	19
4.2 Histopathologische Zusammenhänge.....	19
4.3 Klinische Relevanz.....	20
5 Fragestellung.....	20
<b>II Methoden</b> .....	<b>22</b>
1 Studiendesign und Patientenkollektiv.....	22
2 Messinstrumente.....	23
2.1 Fragebogenuntersuchungen.....	23
2.1.1 Dizziness Handicap Inventory.....	23
2.2 Vestibuläre Funktionsdiagnostik.....	26
2.2.1 Kalorische Vestibularisprüfung.....	26
2.2.2 Cervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale.....	28
2.2.3 Subjektive visuelle Vertikale bei exzentrischer Rotation.....	31
2.2.4 Subjektive haptische Vertikale.....	33
3 Statistische Auswertung.....	34

<b>III Ergebnisse.....</b>	<b>37</b>
1 Auswertung des Patientenkollektivs .....	37
2 Auswertung der Fragebogenuntersuchung.....	40
3 Auswertung der vestibulären Funktionsdiagnostik.....	51
3.1 Bogengangsdiagnostik .....	51
3.2 Otolithendiagnostik .....	54
4 Korrelation der Einzelbefunde .....	65
4.1 Analyse von Schädigungsmustern .....	65
4.2 Subjektiver Schwindel und Schädigung der vestibulären Rezeptoren.....	67
4.3 Korrelation von Merkmalsausprägungen und vestibulärer Funktionsdiagnostik .....	69
<b>IV Diskussion .....</b>	<b>74</b>
1 Methodische Aspekte .....	74
1.1 Fragebogenuntersuchungen - DHI .....	74
1.2 Bogengangsdiagnostik .....	74
1.3 Otolithendiagnostik .....	75
2 Diskussion der klinischen Ergebnisse .....	76
2.1 Patientenkollektiv .....	76
2.2 Fragebogenuntersuchungen.....	77
2.3 Vestibuläre Funktionsbeeinträchtigungen.....	80
2.4 Korrelation der Einzelbefunde .....	85
3 Schlussfolgerung .....	86
<b>V Zusammenfassung .....</b>	<b>87</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>89</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>90</b>
<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>94</b>
<b>Lebenslauf.....</b>	<b>95</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>97</b>

## **Abstrakt**

Einleitung: Cochlea-Implantate (CI) sind Innenohrprothesen, die mittels elektrischer Reizung des intakten Hörnervs ertaubten oder stark hörgeschädigten Menschen zu einer auditiven Wahrnehmung verhelfen. Obwohl es sich dabei um ein sicheres und etabliertes Verfahren handelt, können postoperativ Komplikationen auftreten. In der vorliegenden Studie wurde subjektiver und objektivierbarer Schwindel vor und nach Cochlea-Implantation quantifiziert und auf Zusammenhänge untersucht.

Material und Methoden: Zur Messung des subjektiven Schwindels vor und nach Cochlea-Implantation wurde der Dizziness Handicap Inventory (DHI) verwendet. Zur Messung objektivierbarer Funktionsbeeinträchtigungen erfolgte eine Untersuchung vestibulärer Rezeptoren zum prä- und postoperativen Zeitpunkt. Die Funktion des horizontalen Bogenganges wurde mit Hilfe der kalorischen Funktionsprüfung, der Sacculus anhand cervikaler vestibulär evozierter myogener Potenziale (cVEMPs) und der Utriculus mittels exzentrischer Rotation und subjektiver visueller Vertikale (svV) überprüft.

Ergebnisse: Es wurden insgesamt 52 Ohren nach CI-Versorgung untersucht. Schwindelsymptome bestanden präoperativ bei 23,8 % und postoperativ bei 15,4 % der Patienten. Insgesamt kam es bei 17,9 % (7/39) der Patienten zu einer Verbesserung und bei 5,1 % (2/39) zu einer Verschlechterung der Schwindelsymptomatik nach Cochlea-Implantation. Dieser Unterschied war signifikant ( $p = 0,040$ ). Objektivierbare Funktionsbeeinträchtigungen traten bei allen getesteten vestibulären Rezeptoren postoperativ häufiger auf. Am häufigsten fand sich bei 20,5 % (8/39) der Patienten eine neu aufgetretene Sacculus-Funktionsstörung. Der Unterschied zwischen prä- und postoperativer Stichprobe war signifikant ( $p = 0,008$ ). Die Überprüfung des horizontalen Bogenganges zeigte bei 12,8 % (5/39) der Patienten und die Testung des Utriculus bei 5,8 % (3/52) eine neu aufgetretene Funktionsstörung. Diese Unterschiede waren nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Die Analyse subjektiven und objektiven Schwindels ergab einen signifikanten Zusammenhang nach Cochlea-Implantation zwischen dem DHI-Score und den Ergebnissen der kalorischen Testung ( $p = 0,011$ ). Zudem zeigte sich bei postoperativ pathologisch erhöhtem DHI-Score stets eine Funktionsstörung im Rahmen der cVEMPs.

Schlussfolgerung: Es konnte gezeigt werden, dass sich subjektive Schwindelbeschwerden nach Cochlea-Implantation verbessern können. Objektive Funktionsstörungen traten hingegen auf der Ebene aller drei getesteten vestibulären Rezeptoren nach Cochlea-Implantation auf, wobei nur der Unterschied der Sacculus-Funktion im Prä- und Post-OP-Vergleich signifikant war. Ein Zusammenhang zwischen subjektiven Schwindelbeschwerden und postoperativer Bogengangs- und

Sacculus-Funktion konnte nachgewiesen werden. Eine Schädigung des Utriculus durch Cochlea-Implantation ist unwahrscheinlich.

## **Abstract**

Introduction: Cochlear Implants are internal ear prosthesis, which helps deaf or critically hearing impaired people to regain an auditory perception by electrical stimulation of the intact acoustic nerve. It is a safe and well-established procedure. However, postoperative complications can occur. In this study subjective and objective dizziness after cochlear implantation were quantified and tested for existing correlations.

Material and Methods: The Dizziness Handicap Inventory (DHI) was used to measure the subjective dizziness before and after cochlear implantation. To measure the objective amount of impairment vestibular receptors were tested pre- and postoperatively. The function of the horizontal semicircular canal was verified by way of caloric test, the saccule by the cervical vestibular evoked myogenic potentials (cVEMP) and the utricle by means of eccentric rotation and subjective visual vertical (svV).

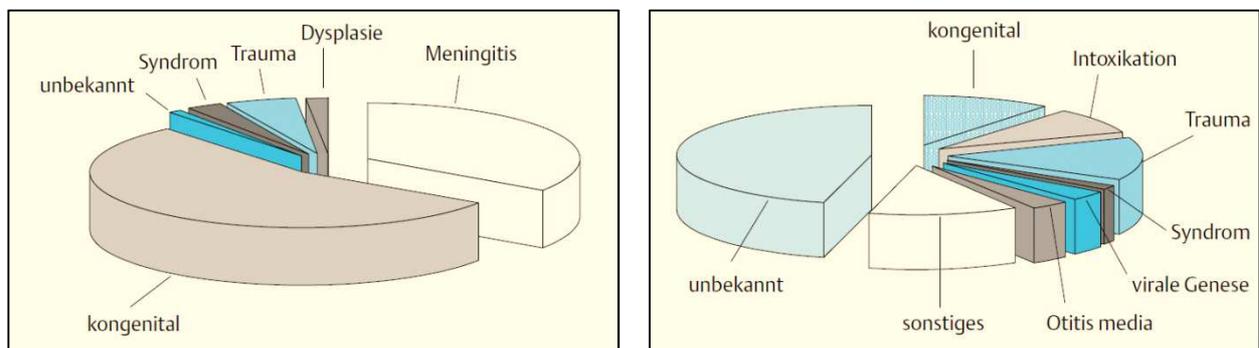
Results: In total, 52 ears after cochlear implantation were examined. Symptoms of dizziness existed preoperatively with 23.8 % and postoperatively with 15.4 % of patients. With 17.9 % (7/39) of patients an improvement, with 5.1 % (2/39) of patients a worsening of dizziness was detected after cochlear implantation. The difference was significant ( $p = 0.040$ ). Postoperative objective function impairment was found in all of the tested vestibular receptors. Most frequently with 20.5 % (8/39) of patients a postoperative new saccular dysfunction was detected. The difference between pre- and postoperative sample was significant ( $p = 0.008$ ). Likewise the semicircular canal showed with 12.8 % (5/39) of patients as well as the utricle with 5.8 % (3/52) of patients a new occurrence of impairment. These differences were not significant ( $p > 0.05$ ). The analysis of subjective and objective dizziness showed a significant correlation between the DHI-score and the results of the caloric testing after cochlear implantation ( $p = 0.011$ ). In addition postoperative pathologic DHI scores were always connected to pathologic cVEMP results.

Conclusion: This study demonstrates that subjective dizziness can be improved after cochlear implantation. In contrast, objective dysfunction can be seen more often after cochlear implantation in all of the three tested vestibular receptors, whereas the only significant difference in the pre- and post-operation comparison was found in the saccular function. A correlation between subjective dizziness and postoperative semicircular canal and saccular function was detected. An impairment of the utricular function by cochlear implantation is unlikely.

# I Einleitung

## 1 Einführung

Das Gehör zählt zu den bedeutendsten Sinnen, um uns im täglichen Leben zurechtzufinden. Einschränkungen des Hörvermögens können, neben Schwierigkeiten im Alltag durch Verlust der Kommunikations- und Orientierungsfähigkeit, das psychische, emotionale und soziale Wohlbefinden maßgeblich einschränken.<sup>1</sup> Laut WHO wird eine Hörstörung als vollständiger bzw. teilweiser Verlust der Hörfähigkeit definiert, wobei ein vollständiger Verlust des Hörvermögens auf einem oder auf beiden Ohren als Taubheit bezeichnet wird.<sup>2</sup> Die Gründe für Hörstörungen oder Taubheit können vielfältig sein. In einer Studie von Kempf et al. (1999) an insgesamt 697 Patienten (366 Kinder, 331 Erwachsene) wurden Ursachen und Häufigkeiten der Ertaubung aufgezeigt (Abbildung 1).<sup>3</sup>



**Abbildung 1:** Ursachen und Häufigkeiten von Taubheit: links bei Kindern (n = 366), rechts bei Erwachsenen (n = 331)<sup>3</sup>

Die Studie lässt erkennen, dass sich die Ursachen für Taubheit im Kindes- und Erwachsenenalter deutlich unterscheiden. Während bei Kindern kongenitale Hörschäden und Meningitiserkrankungen überwiegen, bleiben bei Erwachsenen die Ursachen oft ungeklärt. Die medizinische Versorgung beider Gruppen ist hingegen vergleichbar und hängt in erster Linie davon ab, welche Strukturen geschädigt sind. Zur Rehabilitation stehen herkömmliche Hörgeräte und implantierbare aktive Mittelohrsysteme, die als Schallverstärker dienen, Knochenleitungssysteme, die Vibrationen über die Knochenleitung an das Innenohr übertragen, oder auch neurale Implantate (Cochlea- sowie Hirnstammimplantate), die den Hörnerv bzw. die Hörbahn direkt stimulieren, zur Verfügung. All diese Systeme dienen der Verbesserung der auditiven Perzeption und einer damit verbundenen Steigerung der individuellen Lebensqualität.

## **2 Anatomische und physiologische Grundlagen des Innenohrs**

Das Gehör- und Gleichgewichtsorgan, das Organum vestibulocochlearis, liegt im menschlichen Innenohr, Auris interna. Während die äußeren Anteile des Ohrs, Auris externa und media, für das Richtungshören und die Weiterleitung des Schalls zuständig sind, ist das Innenohr für das eigentliche Hören verantwortlich. Es ist in der Pars petrosa des Os temporalis lokalisiert und enthält die jeweiligen Sinnesepithelien für die Aufnahme des Schalls und das Gleichgewichtsempfinden. Der Schallaufnahmeapparat, Labyrinthus cochlearis, und das Gleichgewichtsorgan, Labyrinthus vestibularis, liegen räumlich voneinander getrennt in einem knöchernen Hohlraumssystem, Labyrinthus osseus, des Innenohrs. In diesem knöchernen Labyrinth, bestehend aus kleinen Hohlräumen und Kanälchen, liegt ein membranöses Labyrinth, das der Form des Labyrinthus osseus weitgehend entspricht. Das membranöse Labyrinth bildet eine geschlossene Struktur, welche die sogenannte Endolymphe enthält, eine kaliumreiche Flüssigkeit, die in ihrer Zusammensetzung der intrazellulären Flüssigkeit ähnelt. Der cochleäre und der vestibuläre Endolymphraum sind über den Ductus reuniens miteinander verbunden. Der Raum zwischen knöchernem und membranösem Labyrinthsystem enthält die Perilymphe. Diese entspricht in ihrer Zusammensetzung der Extrazellulärflüssigkeit. Über den Ductus perilymphaticus ist der Perilymphraum mit dem Liquorraum verbunden.<sup>4</sup>

### **2.1 Die Cochlea**

Die Cochlea (Hörschnecke) bildet mit ihren Sinneszellen das eigentliche Hörorgan. Das bereits oben beschriebene knöcherne cochleäre Hohlraumssystem besteht aus einem 30–35 mm langen Kanal, der sich um eine knöcherne Achse, den Modiolus, windet und dadurch einen schneckenförmigen Hohlraum im Os petrosus einnimmt. Das membranöse Labyrinth teilt diesen knöchernen Kanal in Längsrichtung, so dass drei Kompartimente ausgehend vom basalen Schneckenanteil bis zur Schneckenspitze, Helicotrema, entstehen: die Scala vestibuli, die Scala tympani und der Ductus cochlearis bzw. die Scala media. Die Scala vestibuli geht vom ovalen Fenster, Fenestra vestibuli, aus und bildet bis zum Helicotrema den oberen Anteil der Cochlea. An der Schneckenspitze geht sie in die Scala tympani über, die das untere Kompartiment der Cochlea bildet und sich bis zum runden Fenster zieht. Die Scala vestibuli und die Scala tympani enthalten Perilymphe. Am exzentrisch gelegenen Teil der Cochlea werden sie durch den Ductus cochlearis, der die Endolymphe enthält, voneinander getrennt. Die rostrale Membran, die den Ductus cochlearis von der Scala vestibuli trennt, wird als Reissner-Membran bezeichnet, die Abgrenzung zwischen Ductus cochlearis und Scala tympani als Basilarmembran. Dieser Membran liegt, innerhalb des Ductus cochlearis, das Cortiorgan mit seinen Stütz- und Sinneszellen auf. Letztere

besitzen an ihrem apikalen Ende jeweils 50–100 Stereozilien sowie an ihrem basalen Ende Synapsen mit Neuronen des Nervus cochlearis. Es werden zwei Arten von Sinneszellen unterschieden: die zentraler platzierten inneren und die etwas weiter exzentrisch platzierten äußeren Haarzellen. Bedeckt wird das Cortiorgan von der Tektorialmembran, die nach außen hin den äußeren Haarzellen aufliegt.<sup>4,5</sup>

Trifft nun ein Ton auf das Ohr, wird die Schallwelle über den Gehörgang an das Trommelfell geleitet, das diesen akustischen Reiz in einen mechanischen umwandelt. Vom Trommelfell wird der mechanische Reiz über die Gehörknöchelchen an das runde Fenster und darüber auf die Scala vestibuli übertragen. Darin bzw. anschließend in der Scala tympani entsteht eine Druckwelle, die über die Perilymphe fortgeleitet wird und die Basilarmembran in Schwingung versetzt, es entsteht eine sogenannte „Wanderwelle“. Diese verändert ihre Eigenschaften auf dem Weg vom ovalen Fenster bis hin zum Helicotrema, die Amplitude wird größer, die Wellenlänge kürzer und die Ausbreitungsgeschwindigkeit nimmt ab. Dies liegt daran, dass die Basilarmembran in Richtung des Helicotremas dünner und breiter wird. Für jede Frequenz gibt es auf der Basilarmembran einen Ort, an dem sich die Amplitude der Wanderwelle überproportional verstärkt, die Resonanzfrequenz bzw. Frequenz-Orts-Abbildung. Die Schwingung der Basilarmembran führt zu einer Lageänderung der Tektorialmembran des Cortiorgans, wodurch die Stereozilien der äußeren Haarzellen deflektiert werden. Durch diesen Reiz werden die äußeren Haarzellen depolarisiert und verändern ihre Länge aktiv. Die Schwingung der Endolymphe unter der Tektorialmembran wird verstärkt und die Stereozilien der inneren Haarzellen werden ebenfalls deflektiert. Dieser cochleäre Verstärker bewirkt eine Signalverstärkung am Ort der maximalen Schwingungsamplitude um bis zu 40 dB. Durch die Abscherung der Zilien der inneren Haarzellen werden diese depolarisiert, womit es zu einer Ausschüttung des Transmitters Glutamat kommt. Die Reizweiterleitung erfolgt nun durch elektrische Potenziale über die afferenten Fasern des Nervus cochlearis zum ZNS und somit zur bewussten Sinneswahrnehmung. Diese Umwandlung eines mechanischen Reizes in einen elektrischen wird als Signaltransduktion bezeichnet. Anhand des Amplitudenmaximums der Basilarmembran sowie der cochleären Verstärkung kann das ZNS die Frequenz des Tons bestimmen. Der Hörbereich des menschlichen Gehörs liegt zwischen 20 und 16.000 Hz, wobei die hohen Frequenzen in der Nähe des ovalen Fensters und die tiefen Frequenzen in der Nähe des Helicotremas ihr Amplitudenmaximum haben.<sup>4,5</sup>

## **2.2 Das Vestibularorgan**

Das Vestibularorgan besteht aus den beiden Otolithenorganen, Sacculus und Utriculus, sowie den drei Bogengängen, Canales semicirculares. Mit ihren Sinneszellen detektieren die Bogen-

gangsorgane Drehbeschleunigungen und die Otolithenorgane Linearbeschleunigungen im Raum. Gemeinsam dienen sie der Wahrnehmung und Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts sowie zur allgemeinen Orientierung im Raum, wobei diese Aufgaben nur im Zusammenspiel mit weiteren Sinnesorganen erfüllt werden können.

### **2.2.1 Die Bogengänge**

Die Bogengänge bestehen aus einem vorderen, hinteren und seitlichen Bogengang, dem Canalis semicircularis anterior, posterior und horizontales. Diese drei Bogengänge stehen annähernd rechtwinklig zueinander, wobei sie zur Horizontalebene um ca. 30° nach hinten unten geneigt sind. Sie enthalten Endolymphe. Während die medialen Anteile des vorderen und hinteren Bogenganges vereint als sogenanntes Crus membranaceum commune in den Utriculus münden, endet der mediale Anteil des lateralen Bogengangs als Crus membranaceum simplex eigenständig im Utriculus. Die lateralen Anteile der Bogengänge enden ebenfalls im Utriculus, allerdings jeweils mit einer Erweiterung des Ganges, Ampulla membranacea anterior, posterior und horizontales. Innerhalb dieser Erweiterungen befindet sich eine kammartige Erhebung, die Crista ampullaris, auf der sich das Sinnesepithel befindet. Diese Sinneszellen bestehen aus Haarzellen und wirken als Mechanorezeptoren, die jeweils oberflächlich ein exzentrisch gelegenes Kinozilium und weitere 30–100 unterschiedlich lange Stereozilien besitzen. Letztere sind so angeordnet, dass ihre Größe zum Kinozilium hin zunimmt. Die Zilien werden von der Cupula, einer gallertartigen Substanz, umgeben, die bis an das Dach der Ampullen heranreicht und ein der Endolymphe vergleichbares spezifisches Gewicht aufweist. An ihrem basalen Pol bilden die Haarzellen, als primäre Sinneszellen, Synapsen mit den Axonen des Nervus vestibularis aus, der die elektrischen Impulse an das ZNS weiterleitet.<sup>4,6</sup>

Durch die senkrechte Beziehung der Bogengänge zueinander können sämtliche potenzielle Drehbeschleunigungen erfasst werden. Durch eine Drehbewegung des Kopfes wird die in der Ebene der Bewegung liegende festsitzende Cupula durch die Massenträgheit der in den Bogengängen befindlichen Endolymphe beschleunigt und ausgelenkt. Durch diese Auslenkung werden die von der Cupula umgebenen Zilien der Haarzellen mechanisch deflektiert und es kommt zu einer De- bzw. Hyperpolarisation der Zelle, je nachdem ob die Stereozilien in Richtung der Kinozilie bzw. dagegen ausgelenkt werden. Vergleichbar der Cochlea kommt es auch hier zu einer Transduktion des mechanischen Reizes in einen elektrischen, der im ZNS zu einer bewussten Sinneswahrnehmung verarbeitet wird.<sup>4,6</sup>

### 2.2.2 Die Otolithenorgane

Die Otolithenorgane, bestehend aus Sacculus und Utriculus, sind im Vestibulum des Labyrinths lokalisiert. Das Vestibulum steht als Vorhof des Innenohrs mit den Gehörknöchelchen über das Fenestra vestibuli sowie über den Ductus reuniens mit den basalen Abschnitten der Cochlea und den Bogengängen, die direkt in den Utriculus münden, in Verbindung. Das Vestibulum selbst ist durch die Crista vestibuli in zwei Recessi unterteilt. Im anterior gelegenen Recessus ist der Sacculus lokalisiert, im posterioren Teil, dem Recessus ellipticus, befindet sich der Utriculus. Beide sind über den Ductus utriculosaccularis, der über den Ductus endolymphaticus Verbindung zum Epiduralraum aufweist, miteinander verbunden. Das Sinnesepithel der Otolithenorgane wird als Macula bezeichnet und steht jeweils senkrecht zueinander. Dem Utriculus liegt es als Macula utriculi der Unterseite des Recessus ellipticus mit einer Fläche von ca.  $4,3 \text{ mm}^2$  und etwa 33.000 Sinneszellen auf. Das Sinnesepithel des Sacculus, die Macula sacculi, befindet sich an der medialen Wand des Recessus sphaericus und steht senkrecht zur Fläche der Macula utriculi. Die Macula sacculi weist eine Fläche von etwa  $2,4 \text{ mm}^2$  mit etwa 18.000 Sinneszellen auf. Die Sinneszellen der Otolithenorgane entsprechen im Aufbau weitgehend denen der Bogengangsorgane. Allerdings werden die Otolithenorgane jeweils durch die zentral verlaufende Striola in zwei Bereiche getrennt. Die Striola entspricht jener Zone, in der sich die Anordnung der Kinozilien zu den Stereozilien und somit die Richtung der De-/Hyperpolarisation ändert. Auf der Macula utriculi liegen die Kinozilien im Verhältnis zu den Stereozilien auf der der Striola zugewandten Seite, auf der Macula sacculi auf der der Striola abgewandten Seite. Die Striola verläuft jeweils bogenförmig etwa mittig der Maculae, so dass alle Richtungen einer Beschleunigung innerhalb einer Ebene erfasst werden können. Auch hier sind die Zilien der Haarzellen von einer gelatinösen Substanz umgeben, der jedoch, anders als in den Bogengängen, Kristalle aus Calciumcarbonat, Otokonien, an der Oberfläche aufliegen und die Otolithenmembran genannt wird. Deren spezifisches Gewicht ist wesentlich höher als das der die Otolithenmembran umgebenden Endolymphe.<sup>4,6</sup>

Trifft ein adäquater Reiz in Form einer Linearbeschleunigung auf das Labyrinth auf, wird, auf Grund der Massenträgheit der Otolithenmembran gegenüber der Endolymphflüssigkeit, diese Membran ausgelenkt und es kommt entsprechend der Ausscherrichtung zu einer De- bzw. Hyperpolarisation der Sinneszellen. An den Synapsen der Haarzellen werden diese Signale, entsprechend den Bogengangsorganen, über den Botenstoff Glutamat an die Axone des Nervus vestibularis weitergegeben und im ZNS verarbeitet. Gemäß ihrer Lage im Labyrinth des Innenohrs detektiert die Macula utriculi horizontale und die Macula sacculi vertikale Linearbeschleunigungen.<sup>4,6</sup>

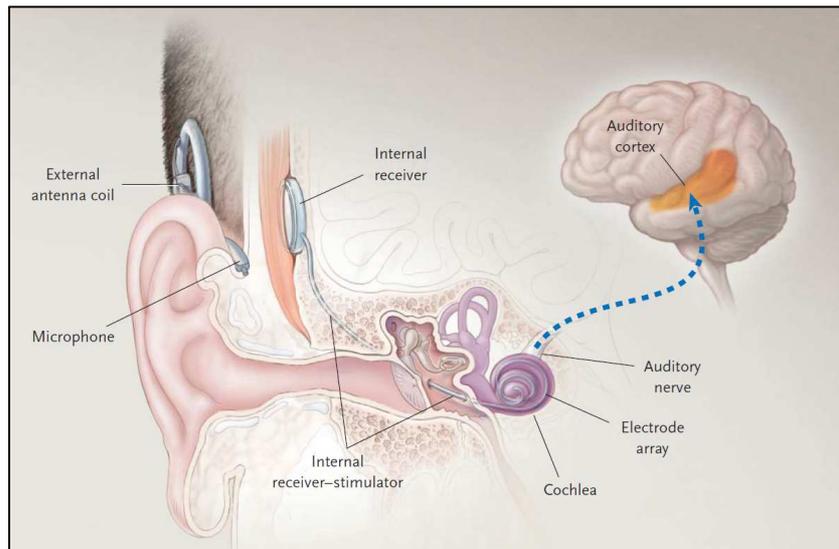
### **3 Cochlea-Implantat**

Als Cochlea-Implantate werden Innenohrprothesen bezeichnet, die mittels elektrischer Reizung des intakten Hörnervs ertaubten oder stark hörgeschädigten Menschen zu einer auditiven Wahrnehmung verhelfen können.

Erste Gedanken über die elektrische Stimulation des auditiven Systems machte sich bereits im späten 18. Jahrhundert Alexandro Volta. Der eigentliche Durchbruch erfolgte jedoch erst 1957, als die theoretischen Überlegungen in die Praxis umgesetzt werden konnten und der Wissenschaftler André Djourno gemeinsam mit dem Otolaryngologen Charles Eyries einem bilateral ertaubten Patienten erfolgreich eine Elektrode einpflanzte, die Strom an den erhaltenen Stumpf des Nervus cochlearis weiterleitete. Im weiteren Verlauf zeigte dieser Patient zunächst eine Diskriminationsfähigkeit bezüglich Schallintensität und Frequenz. Nach eingehender Rehabilitation erfolgte dann auch die Wahrnehmung einzelner Wörter, ein vollständiges Sprachverstehen war hingegen nicht zu erreichen.<sup>7</sup> In den darauffolgenden Jahren erfolgten weitere Implantationsversuche verschiedener Otologen, insbesondere durch Dr. William House. In diesen Versuchen wurden ausschließlich Einzelelektroden verwendet, die zumeist in die Basalwindungen der Cochlea implantiert wurden.<sup>8</sup> Eine Arbeitsgruppe um Robert Bilger konnte schließlich 1975 nachweisen, dass ertaubte Patienten tatsächlich von diesen Implantaten profitierten, und eröffnete damit Wissenschaft und Forschung neue Möglichkeiten.<sup>9</sup> Die Cochlea-Implantate wurden kontinuierlich weiterentwickelt, so dass es 1978 Clark et al. erstmals gelang, einem Patienten eine mehrkanalige Elektrode zu implantieren. Bei diesem und nachfolgenden Patienten konnte ein Sprachverständnis erzielt werden ohne die Zuhilfenahme von Lippenlesen.<sup>10</sup> Cochlea-Implantate haben sich seither zu einer sicheren, effizienten und deshalb häufig verwendeten Methode bei der Behandlung ertaubter oder schwerhöriger Patienten entwickelt, wobei die Möglichkeiten der Weiterentwicklung sicherlich noch nicht ausgeschöpft sind.<sup>11</sup>

#### **3.1 Aufbau und Funktionsweise von Cochlea-Implantaten**

Obwohl es zahlreiche Implantationssysteme von verschiedenen Herstellern gibt, ist die grundlegende Funktionsweise bzw. der Aufbau vergleichbar (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Aufbau und Funktion eines Cochlea-Implantates<sup>12</sup>

Über ein externes Mikrofon, das zusammen mit einem Sprachprozessor am Oberrand und hinter der Ohrmuschel befestigt ist, werden akustische Signale erfasst und an den Sprachprozessor übermittelt. Dieser codiert die akustischen Signale in elektrische Impulse, die über eine Transmitterspule perkutan, mittels Radiofrequenz, an einen im Mastoid implantierten Empfänger übermittelt werden. Die elektrischen Impulse werden von dort an die intracochleär gelegenen Elektroden weitergeleitet, die den Hörnerv über elektrische Reize stimulieren. Die Signalkodierung dient der Information, welche Elektroden, je nach ihrer intracochleären Lage, gereizt werden. Somit erfolgt eine definierte elektrische Stimulation des Nervus cochlearis, die der tonotopischen Kodierung der Cochlea gerecht wird. Der Hörnerv leitet die Signale schließlich auf dem natürlichen Weg weiter an den auditiven Kortex, wo sie zu einer akustischen Wahrnehmung verarbeitet werden.<sup>12,13</sup>

### 3.2 Indikationen

Als absolutes Indikationskriterium für ein Cochlea-Implantat muss der Innenohrschaden in der Cochlea selbst lokalisiert und die Funktionsweise des Hörnervs intakt sein.

Die ursprünglichen Selektionskriterien der Patienten haben sich im Laufe der Zeit stark verändert. Während anfangs nur vollständig bilateral ertaubte Patienten ein Cochlea-Implantat erhielten, werden derzeit auch erwachsenen Patienten solche Innenohrprothesen implantiert, falls sie mit einem externen Hörgerät eine eingeschränkte Sprachdiskrimination von weniger als 30 % aufweisen oder wenn sich das Sprachverständnis trotz optimaler anderweitiger Versorgung subjektiv als unzureichend erweist.<sup>14,15</sup>

Bei Kindern empfiehlt die FDA (Food and Drug Administration) momentan eine Cochlea-Implantation ab dem 2. Lebensjahr, eine Altersbegrenzung nach oben besteht nicht.<sup>16,17</sup> Immer mehr Studien deuten jedoch auf eine Überlegenheit von Cochlea-Implantationen noch vor dem 12. Lebensmonat hin.<sup>18-20</sup> Des Weiteren werden heutzutage sowohl prä- als auch postlingual ertaubte Patienten mit Cochlea-Implantaten versorgt. Studien von Hinderink et al. (1995) und Zeitler et al. (2012) zeigten, dass postlingual ertaubte Patienten gegenüber prälingual Ertaubten zwar stärker von einem Cochlea-Implantat profitieren, aber dennoch auch die Gruppe der postlingual Ertaubten eine signifikante Verbesserung im Sprachverständnis aufweist.<sup>21,22</sup> Allgemein konnten Studien zeigen, dass, je kürzer die Ertaubung besteht, desto besser das postoperative auditorische Resultat ist.<sup>23,24</sup> Weitere wichtige Prädilektionsfaktoren für den Erfolg einer Implantation stellen aber auch der IQ, das Alter bei Implantation und die Fähigkeit zum Lippenlesen dar.<sup>24</sup>

Zu Gunsten des binauralen Hörens werden immer öfter auch bilaterale Cochlea-Implantationen durchgeführt. Studien konnten zeigen, dass es hierdurch zu einer signifikanten Verbesserung der Sprachwahrnehmung und -lokalisation kommt.<sup>25-28</sup> Auch die Erfahrungen mit der Versorgung einseitig Ertaubter sind ausgesprochen gut hinsichtlich der Wiedererlangung des räumlichen Hörens, so dass auch diese Patientengruppe regelhaft mit Cochlea-Implantaten versorgt wird.<sup>29</sup>

Modifikationen der OP-Techniken ermöglichen heute in vielen Fällen den Erhalt akustisch nutzbarer Restgehöranteile, so dass neben dem Cochlea-Implantat-System ein Hörgerät ipsilateral getragen werden kann und zu einer Verbesserung der Sprachwahrnehmung beiträgt.

Eine ausführliche präoperative Testung sollte sicherstellen, dass alle Implantationskriterien erfüllt werden und keine Kontraindikationen vorliegen.

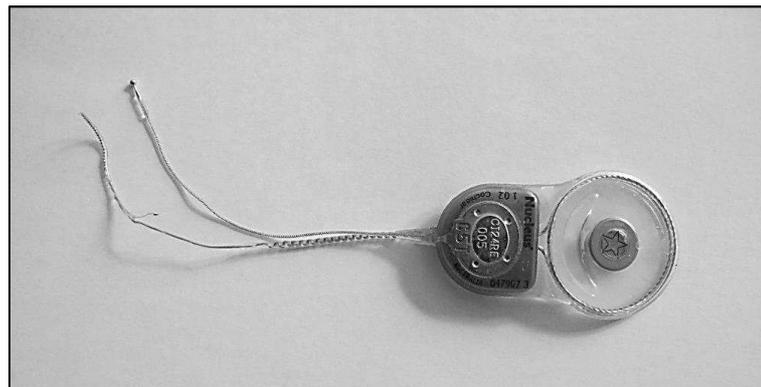
### **3.3 Implantationsverfahren**

Das operative Verfahren der Cochlea-Implantation erfolgt in Allgemeinanästhesie und unter Antibiotikaprophylaxe. Die primäre Schnittführung wird retroaurikulär vorgenommen und kann bei Bedarf ausgeweitet werden. Nach Freilegung des Mastoidknochens erfolgt die Mastoidektomie bis zur Darstellung von Antrum mastoideum, lateralem Bogengang und Fossa incudis. Am Oberrand der Mastoidektomie wird ein Teil der Kortikalis belassen. Dort werden zwei kleine Löcher zur späteren Fixierung der Elektrodenbündel gebohrt. Außerdem erfolgt die Ausfräsung eines Teils der Schädelkalotte zur Bildung eines Knochenbetts für den Empfänger des Implantats. Den nächsten Schritt stellt die posteriore Tympanotomie dar, dabei wird der Chorda-Fazialis-Winkel aufgebohrt. Besonders ist hierbei auf die Chorda tympani und den Nervus Fazialis zu achten. Ein intraoperatives Neuro-Monitoring der Fazialisfunktion ist sinnvoll. Durch die posteriore Tympan-

notomie gelingt die Sicht auf das Promontorium und die runde Fensternische in die Paukenhöhle. Anschließend erfolgt der Zugang zur Cochlea. Bei dieser wird, um das runde Fenster vollständig einsehen zu können, zuerst die überhängende Promontoriumlippe mittels Bohrer abgetragen. Entsprechend dem modifizierten Rundfensterzugang wird das runde Fenster eröffnet und inferior etwas ausgeweitet. Die Elektroden werden nun vorsichtig entsprechend den spezifischen Markierungen in die Scala tympani vorgeschoben. Sobald ein nicht überwindbarer Widerstand auftritt, sollte das Implantat fixiert werden.<sup>30,31</sup>

Für eine optimale perimodale Lage der Elektroden befürworten Todt et al. (2012) die sogenannte „pull-back technique“. Hierbei wird das Elektrodenband, nach Insertion in die Cochlea, wieder 1,37–1,5 mm zurückgezogen und erst dann fixiert.<sup>32</sup>

Anschließend wird der Empfänger in das Knochenbett eingebracht und ebenfalls fixiert. Vor dem endgültigen Wundverschluss wird das Implantat mittels Telemetrie intraoperativ auf seine Funktionsfähigkeit überprüft.<sup>30,31</sup> Abbildung 3 zeigt den internen Teil eines herkömmlichen Cochlea-Implantates, welches im Unfallkrankenhaus Berlin verwendet wird.



**Abbildung 3:** Interner Anteil eines Cochlea-Implantates (Nucleus®)

Postoperativ erfolgt eine erneute Testreihe zur Überprüfung der korrekten Lage des Implantates sowie der Funktionsfähigkeit von Cochlea und Vestibularorgan. Etwa einen Monat nach Implantation geschieht die Prozessoranpassung mittels elektrischer Stimulation, gefolgt von einer ca. sechsmonatigen Rehabilitationsphase, in welcher der Patient schrittweise erlernt, durch die auditiven Wahrnehmungen ein Sprachverständnis zu erlangen.<sup>30</sup>

### 3.4 Komplikationen nach Cochlea-Implantationen

Obwohl die Cochlea-Implantations-Chirurgie seit über 25 Jahren eine gängige und sichere Rehabilitationshilfe für ertaubte oder stark schwerhörige Menschen darstellt, handelt es sich dabei dennoch um ein operatives Verfahren, das mit Komplikationen einhergehen kann. Verschiedene

Studien haben sich mit diesem Thema befasst und hierbei die Komplikationen in „minor complications“, Komplikationen, die sich spontan oder mit einer einfachen Behandlung zurückbilden (z. B. Wundinfektionen, Hämatome, Blutungen, passagere Fazialisparese), und in „major complications“, Komplikationen, die eine Revision zur Folge haben (z. B. Beschädigung der Elektroden, Elektrodendislokation, Nahtdehiszenz, persistierende Fazialisparese, Meningitis), unterteilt.<sup>33–35</sup> Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Häufigkeit von Komplikationen nach Implantation in drei unterschiedlichen Studien.

Komplikationen	Cohen et al. (1988) <sup>33</sup>	Green et al. (2004) <sup>34</sup>	Brito et al. (2012) <sup>35</sup>
Minor	7	25,4	7,8
Major	4,8	6,25	8,9
Total	11,8	31,65	16,7

**Tabelle 1:** Häufigkeiten von Minor-/Major-Komplikationen nach Cochlea-Implantationen in Prozent

Die häufigsten Komplikationen ergaben sich durch den operativen Eingriff im Allgemeinen, es handelte sich insbesondere um Nahtdehiszenzen, Hämatome und Infektionen. Operationsspezifische Komplikationen waren Fazialisparesen, Geschmacksstörungen, Lappennekrosen, Elektrodendislokationen, Cholesteatombildung, Otitis media, Verlust des Resthörens, Tinnitus und Schwindel.<sup>3,33–36</sup>

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass postoperative Komplikationen selten sind, dies scheint jedoch unter anderem davon abhängig zu sein, ob der Eingriff durch erfahrene Otologen in spezialisierten Zentren durchgeführt wird.<sup>3,33,36</sup>

#### **4 Schwindel nach Cochlea-Implantationen**

Eine wichtige Komplikation nach Cochlea-Implantation stellt das postoperative Auftreten von Schwindel dar. Bereits 1977 beschrieb Black in einer Studie, dass das vestibuläre System durch eine Implantation beeinträchtigt werden kann.<sup>37</sup> Seither haben sich zahlreiche weitere Studien mit diesem Thema befasst, wobei sie sich in Hinblick auf die chirurgischen Methoden bei Implantation, das Patientenkollektiv wie auch die Methodik zur Erhebung von Schwindel am Patienten unterscheiden. Aus diesem Grund differiert auch die Häufigkeit von postoperativem Schwindel in den jeweiligen Studien sehr stark.

##### **4.1 Vestibuläre Funktionsdiagnostik**

Für einen wissenschaftlichen Vergleich und Auswertung von Schwindel muss es möglich sein, Schwindel quantitativ zu erfassen. Dafür wurden verschiedene Untersuchungsmethoden und

Funktionsdiagnostiken entwickelt. Im Folgenden werden die wichtigsten klinisch etablierten Verfahren zur Messung von Schwindel zusammen mit wichtigen Studienergebnissen vorgestellt, um einen Überblick über den bisherigen Stand der Wissenschaft zum Thema vestibulärer Funktionsstörungen nach Cochlea-Implantation zu geben.

#### 4.1.1 Subjektiver Schwindel nach Cochlea-Implantation

Neben einer ausführlichen Anamnese des Patienten können standardisierte Fragebögen einen wichtigen Beitrag zur Erhebung von Schwindelbeschwerden leisten. Diese Art der Erhebung kann zwar ausschließlich subjektiv sein, ermöglicht jedoch Aussagen zur subjektiven Stärke des Schwindels und zur subjektiven Beeinträchtigung des einzelnen Patienten. Dies ist unter anderem für die Evaluierung der individuellen Therapieverläufe relevant. Ein Beispiel für einen solchen klinisch etablierten Fragebogen ist der „Dizziness Handicap Inventory“ (DHI), der Aussagen zur Lebensqualität in Bezug auf die Schwindelsymptomatik des Patienten erlaubt. Dieser Fragebogen wurde 1990 von Jacobsen und Newman in englischer Sprache entwickelt und 2009 von Kurre et al. für den deutschen Sprachraum übersetzt und validiert. Durch insgesamt 25 Items evaluiert der Fragebogen Schwindel auf drei Skalen. Er beurteilt sowohl die körperlichen (physischen) und alltäglichen (funktionellen) als auch die emotionalen Beeinträchtigungen.<sup>38,39</sup>

Verschiedene Studien haben den DHI verwendet, um Schwindel bei Patienten nach Cochlea-Implantation zu erfassen. Dabei fanden sich Werte zwischen 27,8 und 53,2 % für das Auftreten von postoperativem Schwindel.<sup>31,40-43</sup> Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Studienergebnisse.

Studie	Anzahl der Patienten	Patienten mit Schwindel (%)
Wagner et al. (2010) <sup>40</sup>	20	6 (30)
Todt et al. (2008) <sup>31</sup>	62	33 (53,2)
Basta et al. (2008) <sup>41</sup>	18	5 (27,8)
Enticott et al. (2006) <sup>43</sup>	146	47 (32,2)

**Tabelle 2:** Anteil Patienten mit Schwindelbeschwerden nach Cochlea-Implantation gemessen mit dem DHI

#### 4.1.2 Objektivierbarer Schwindel nach Cochlea-Implantation

Durch standardisierte Funktionsprüfungen des Vestibularapparates ist auch eine objektivierbare Erfassung von Schwindel möglich. Dafür wurden, je nach zu untersuchendem Gleichgewichtsorgan (Bogengänge, Sacculus, Utriculus), verschiedene Methoden entwickelt.

#### 4.1.2.1 Canales semicirculares

1906 machte der Mediziner Bárány die Beobachtung, dass es bei einer Temperaturänderung des labyrinthären Systems zu einer Bewegung der Endolymphflüssigkeit kommt. Die Cupula wird dadurch ausgelenkt. Dies ist gleichzusetzen mit einem peripheren vestibulären Reiz und führt über die vestibulookuläre Reflexbahn zu einem Horizontalnystagmus. Diese Beobachtung wurde von vielen Wissenschaftlern aufgegriffen und weiterentwickelt, woraus ein klinisch reproduzierbares Verfahren zur seitengetrenten Funktionsprüfung des Vestibularorgans, vornehmlich des horizontalen Canalis semicircularis, resultierte. Hierbei wird dem Patienten Wasser (oder Luft) mit einer Temperatur von 30 bzw. 44 °C in den äußeren Gehörgang einer Seite gespült. Bei einer Spülung mit kaltem Wasser kommt es zu einem Horizontalnystagmus auf die kontralaterale Seite, bei Warmspülung zur ipsilateralen Seite. Der Nystagmus kann mittels Elektronystagmografie (ENG) oder Videookulografie (VOG) in Frequenz und Amplitude aufgezeichnet werden. Diese kalorische Prüfung stellt mittlerweile eine etablierte Methode zur seitengetrenten Funktionsprüfung der horizontalen Bogengänge dar.<sup>44,45</sup>

Zahlreiche Forschungsarbeiten haben vestibuläre Ausfälle nach Cochlea-Implantation anhand der thermischen Funktionsprüfung gemessen und fanden dabei neu aufgetretene Funktionsstörungen des horizontalen Bogengangs bei 5,9 bis 60 % der Patienten.<sup>31,40,42,46-50</sup> Tabelle 3 zeigt eine Übersicht wichtiger Studienergebnisse.

Studie	Anzahl der getesteten Ohren (präoperativ normale Funktion)	Patienten mit messbarer Verschlechterung postoperativ (%)
Katsiari et al. (2012) <sup>46</sup>	20 (10)	6 (60)
Wagner et al. (2010) <sup>40</sup>	40 (17)	1 (5,9)
Krause et al. (2010) <sup>47</sup>	30 (16)	8 (50)
Krause et al. (2009) <sup>50</sup>	24 (12)	7 (58,3)
Melvin et al. (2009) <sup>42</sup>	16 (*)	1 (*)
Todt et al. (2008) <sup>31</sup>	62 (48)	12 (25)
Klenzner et al. (2004) <sup>48</sup>	32 (32)	5 (15,6)
Ito et al. (1998) <sup>49</sup>	35 (17)	6 (35,3)

**Tabelle 3:** Patienten mit messbarer Verschlechterung in der kalorischen Testung des horizontalen Bogenganges nach Cochlea-Implantation (\* keine Angabe)

#### 4.1.2.2 Sacculus

Die Funktionsprüfung des Sacculus erfolgt über cervikale vestibulär evozierte myogene Potenzi-ale (cVEMPs). Dieses diagnostische Verfahren beruht auf der Beobachtung, dass die Macula

sacculi nicht nur durch lineare Beschleunigung, sondern auch durch akustische Stimuli gereizt werden kann. Durch die einseitige Darbietung eines tieffrequenten lauten Tons erfolgt die Reizung des Sacculus, und der vestibulokollare Reflexbogen wird aktiviert. Die motorische Komponente des Reflexbogens kann mittels Elektromyogramm (EMG) am ipsilateralen Musculus sternocleidomastoideus, in Form inhibitorischer Potenziale, registriert werden. Da durch akustische Stimuli auch die Cochlea gereizt wird, enthält die Reizantwort aufeinanderfolgende Potenzialkomplexe.<sup>45</sup> Colebatch et al. (1994) konnten eindeutig feststellen, dass der erste Komplex (p13, n23) mit einer Stimulation der Macula sacculi und der zweite (n34, p44) mit einer Stimulation der Cochlea einhergeht.<sup>51</sup>

Mittels EMG des Musculus sternocleidomastoideus können so Potenziale abgeleitet und eine Aussage über die Funktionsfähigkeit des Sacculus der betreffenden Seite getätigt werden. Für eine aussagekräftige und vergleichbare Messung ist eine konstante Muskelspannung während des Messvorgangs nötig, da ohne sie keine Reflexantwort auftritt.<sup>45</sup>

Studien, die das Leitsymptom Schwindel anhand von cVEMPs zu quantifizieren versuchten, fanden unterschiedliche Häufigkeiten sacculärer Dysfunktionen nach Cochlea-Implantation. Postoperativ ergaben sich Sacculus-Beeinträchtigungen im Bereich von 22,7 bis 100 %.<sup>31,40-42,46,47,52</sup> Tabelle 4 gibt einen Überblick über die genannten Studienergebnisse.

Studie	Anzahl der getesteten Ohren (präoperativ normale Funktion)	Patienten mit messbarer Verschlechterung postoperativ (%)
Katsiari et al. (2012) <sup>46</sup>	20 (10)	6 (60)
Wagner et al. (2010) <sup>40</sup>	40 (22)	5 (22,7)
Krause et al. (2010) <sup>47</sup>	30 (14)	12 (85,7)
Krause et al. (2009) <sup>50</sup>	23 (8)	4 (50)
Melvin et al. (2009) <sup>42</sup>	19 (12)	5 (41,7)
Todt et al. (2008) <sup>31</sup>	62 (39)	13 (33,3)
Basta et al. (2008) <sup>41</sup>	16 (16)	10 (62,5)
Jin et al. (2006) <sup>52</sup>	12 (6)	6 (100)

**Tabelle 4:** Patienten mit messbarer Verschlechterung der Ableitung von cVEMPs nach Cochlea-Implantation

#### 4.1.2.3 Utriculus

Lange war es nicht möglich, Utriculus und Sacculus getrennt voneinander zu untersuchen, und auch heute besitzen nur wenige HNO-Zentren die apparativen Möglichkeiten für eine unilaterale Utriculus-Funktionsdiagnostik. Ein bewährtes Verfahren ist die Messung der Augentorsion bei exzentrischer Rotation, ausgelöst durch den utriculookulären Reflexbogen. Hierbei erfolgt eine

Rotation des Patienten auf einem Drehstuhl, der seitlich jeweils 2,5 cm nach rechts oder links verschoben wird. Durch diese exzentrische Manipulation wird die einseitige Reizung der Macula utriculi möglich, da die lineare Beschleunigung nur auf das exzentrisch gelegene Vestibularorgan bei der Rotation wirkt.<sup>53,54</sup>

Die Aufzeichnung der Augentorsionen, die über den utriculookulären Reflexbogen bei Reizung der Macula ausgelöst werden, stellt sich schwierig dar. Janky und Shepard (2011) konnten anhand einer Studie zeigen, dass die Messung der subjektiven visuellen Vertikale (svV) bei exzentrischer Rotation zu ähnlich präzisen Ergebnissen bei der Funktionsdiagnostik des Utriculus führt.<sup>55</sup> Allerdings handelt es sich bei dieser Methode genau genommen um ein subjektives Verfahren. Der Patient trägt während der Rotation eine lichtdicht abgeschlossene Brille mit integriertem Leuchtdisplay, welches einen weißen Balken abbildet. Diesen Balken muss der Patient mittels zweier Handtasten in eine für ihn vertikale Lage bringen. Anhand der Abweichung des fertig positionierten Balkens zur tatsächlich vertikalen Lage lässt sich eine Aussage über die Funktionsfähigkeit des Utriculus treffen.<sup>45,55-57</sup>

Bislang gibt es noch keine publizierte Studie, welche die subjektive visuelle Vertikale bei exzentrischer Rotation als apparative Diagnostik zur Funktionsprüfung des Utriculus nach Cochlea-Implantation testet. Die Studie von Vibert et al. (2001) untersuchte lediglich die Funktionsfähigkeit beider Otolithenorgane nach Cochlea-Implantation mittels „off-vertical axis rotation“. Hierbei erfolgt ebenfalls eine Rotation um die vertikale Achse, wobei der Patient im Gegensatz zur exzentrischen Rotation im Drehzentrum sitzt. Die Bogengänge und der Utriculus werden dabei zeitgleich stimuliert und es setzt zunächst ein Nystagmus ein. Dieser klingt durch die gleichzeitige Reizung der beiden Sinnesorgane langsam ab. Nun wird der Drehstuhl um 13° unter anhaltender Rotation gekippt. Die Otolithenantwort wird für ca. zwei Minuten aufgezeichnet und der Stuhl anschließend wieder in eine vertikale Lage gebracht und abgebremst. Die Messung wird in die entgegengesetzte Richtung wiederholt.<sup>58,59</sup> Die Studie zeigte, dass es bei sechs getesteten Personen mit postoperativ erhaltener semicircular Canal-Funktion zu keiner Verschlechterung der Otolithenfunktion kam.<sup>58</sup>

Andere Studien von Basta et al. (2008) und Coordes et al. (2012) verwendeten zur Funktionsprüfung des Utriculus nach Cochlea-Implantation die subjektive haptische Vertikale (shV). Dabei muss der Proband unter möglichst ausgeschalteter Propriozeption, durch Augenklappen und fehlenden Kontakt der Füße zum Boden, eine senkrechte Linie auf ein perfekt horizontal ausgerichtetes Blatt zeichnen. Dieser Test wird sowohl in aufrechter Haltung als auch in um 20° geneigter Links-/Rechtsseitenlage durchgeführt. Eine Abweichung der Linie um bis zu  $\pm 10^\circ$  gilt als

normwertig.<sup>45,60</sup> Auch unter dieser subjektiven Funktionsdiagnostik konnte keine Beeinträchtigung der Utriculus-Funktion nach Cochlea-Implantation nachgewiesen werden<sup>41,61</sup>.

Eine neuere Methode zur vestibulären Funktionsprüfung stellen die okulären vestibulär evozierten myogenen Potenziale (oVEMPs) dar. Analog zu den cVEMPs werden die Otolithenorgane durch akustische Stimuli gereizt und so der vestibulookuläre Reflexbogen aktiviert. Anders aber als bei den cVEMPs werden die oVEMPs an den kontralateralen extraokulären Augenmuskeln mittels EMG gemessen. Es handelt sich hierbei um sehr kleine exzitatorische Potenziale bei 10 ms (n 10) und 15 ms (p 15). Die Reflexantwort wird hierbei über die superioren Anteile des Vestibularnervs geleitet, hier aber verlaufen neben den utriculären Afferenzen auch Afferenzen des Sacculus und der horizontalen Bogengänge. Somit ist die Messung der oVEMPs nach dem Stand der aktuellen Literatur als nicht Utriculus-spezifisch zu werten.<sup>62</sup>

#### **4.1.3 Zusammenhang zwischen postoperativ objektivierbarem und subjektivem Schwindel**

Die meisten der bisher genannten Studien haben sowohl eine subjektive als auch eine oder mehrere objektivierbare Komponenten von Schwindel nach Cochlea-Implantation erfasst und konnten somit Aussagen darüber treffen, ob ein Zusammenhang zwischen subjektivem und objektivierbarem Schwindel besteht.<sup>31,40-43,50,63</sup>

So konnten Enticott et al. (2006) nachweisen, dass Patienten mit subjektiven postoperativen Schwindelsymptomen schlechtere Ergebnisse in der Kalorik der implantierten Seite zeigten als Patienten, die über keine Symptome klagten.<sup>43</sup> Eine geringe Korrelation fand sich auch in Studien von Wagner et al. (2010) und Melvin et al. (2009).<sup>40,42</sup> In der Arbeit von Basta et al. (2008) zeigte sich, dass nur 50 % der Patienten mit einem kompletten Funktionsausfall des Sacculus über Schwindelgefühle für mehr als drei Monate klagten.<sup>41</sup> Weitere Studien, die den subjektiven Schwindel nicht anhand des DHI untersuchten, kamen weder in der Kalorik- noch in der cVEMP-Testung zu einer Korrelation zwischen subjektivem postoperativem Schwindel und vestibulären Beeinträchtigungen.<sup>50,63</sup>

Eine Aussage über den Zusammenhang zwischen subjektivem Schwindel und Funktionsausfällen ausgehend vom Utriculus kann anhand der bisher vorliegenden Literatur nicht getroffen werden.

#### **4.2 Histopathologische Zusammenhänge**

Eine Studie von Tien und Linthicum (2002) untersuchte paarweise je elf Temporalknochen verstorbener Patienten, die vor ihrem Tod ein Cochlea-Implantat erhalten hatten. Ziel der Studie war es, histopathologische Veränderungen des Innenohrs nach einer solchen Operation zu identifizieren. Es konnte bei sechs der elf Patienten (54,5 %) eine Veränderung gefunden werden.

Hierbei handelte es sich zumeist um Distorsionen der Sacculus-Membran, um die Fibrosierung von Anteilen des Vestibularorgans, teilweise mit Kalzifikationen und Ossifikationen, und auch um reaktive Neurome. Am häufigsten zeigten sich histopathologische Veränderungen des Sacculus (7 Fälle), gefolgt vom Utriculus (3 Fälle) und den Bogengängen (2 Fälle). In allen drei Fällen, in denen die Elektroden in der Scala tympani verblieben waren, fanden sich keinerlei Beschädigungen des Vestibularorgans. Aber auch in dieser Studie konnte kein Zusammenhang zwischen den histopathologisch gefundenen Veränderungen und den postoperativ beschriebenen Schwindelsymptomen der Patienten identifiziert werden.<sup>64</sup>

### **4.3 Klinische Relevanz**

Wie die oben aufgeführten Studien zeigen, sind Zusammenhänge zwischen dem operativen Eingriff im Rahmen eines Cochlea-Implantats und dem postoperativen Auftreten von Schwindel sowie Funktionsausfällen auf Ebene des Vestibularorgans bekannt, die Frage nach der Kausalität konnte bisher nicht abschließend geklärt werden.

Als klinische Konsequenz wird grundsätzlich eine vestibuläre Funktionsprüfung vor Implantation empfohlen. Werden hierbei keine weiteren Faktoren identifiziert, die eine mögliche Implantation einschränken würden, sollte das Cochlea-Implantat in jene Seite eingesetzt werden, die eine schlechtere Vestibularfunktion aufweist.<sup>42,50,65</sup>

Auch die bilaterale Implantation muss man somit kritisch betrachten. Wagner et al. (2010) konnten mit ihren Ergebnissen eindeutig zeigen, dass eine bilaterale Cochlea-Implantat-Versorgung ein größeres Risiko darstellt, postoperativ unter Schwindelbeschwerden zu leiden, als eine unilaterale Versorgung.<sup>40</sup> Dennoch birgt die bilaterale Versorgung für viele Patienten große Vorteile.<sup>25-28</sup> Eine Risiko-Nutzen-Abwägung sollte somit bei jedem Patienten individuell präoperativ erfolgen.

## **5 Fragestellung**

Diese Arbeit befasst sich mit dem Thema vestibulärer Funktionsbeeinträchtigungen nach Cochlea-Implantation. Anders als in bisher publizierten Studien wird zusätzlich zur Erfassung von Sacculus- und Bogengangsfunktion auch der Utriculus einer genauen Funktionsdiagnostik unterzogen. Es gilt, die Hypothese zu überprüfen, dass es postoperativ signifikant häufiger zu Utriculus-Dysfunktionen kommt. Dazu wurden prä- und postoperative Daten der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation erhoben und ausgewertet. Zusätzlich wurden die Daten der Kalorik- und cVEMP-Messung ausgewertet, um Aussagen über die Häufigkeit der unterschiedlichen vestibulären Funktionsbeeinträchtigungen zu treffen und Ergebnisse aus anderen Studien vergleichen zu können. Die Erfassung von Schwindel- und Gleichgewichtsproblemen mittels

DHI hatte zum Ziel, einen möglichen Zusammenhang zwischen den subjektiv empfundenen und den objektivierbaren vestibulären Beeinträchtigungen zu identifizieren.

## II Methoden

### 1 Studiendesign und Patientenkollektiv

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine klinische retrospektive Studie zur Untersuchung von Schwindelbeschwerden und vestibulärer Funktionsstörungen nach Cochlea-Implantation. Die Ermittlung des Patientenkollektivs erfolgte anhand vorliegender elektronischer Krankenakten. Als Auswahlkriterium für die Aufnahme in die Studie galt eine ein- bzw. beidseitige Cochlea-Implantation. Diese musste im Unfallkrankenhaus Berlin mittels eines einheitlichen und standardisierten chirurgischen Verfahrens, der Insertion der Elektroden über einen modifizierten Rundfensterzugang, zwischen 2008 und 2012 durchgeführt worden sein (Einleitung 3.3 Implantationsverfahren). Es wurden zudem ausschließlich Patienten in die Studie eingeschlossen, von denen postoperative Ergebnisse der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation oder der subjektiven haptischen Vertikale vorlagen. Stand bei Patienten für diese beiden Untersuchungsformen lediglich das postoperative Ergebnis zur Verfügung und war dieses pathologisch, so wurden betroffene Patienten für die untersuchte Seite von der Studie ausgeschlossen, da kein Rückschluss auf die präoperative Funktionsfähigkeit und somit keine Aussage über den Einfluss von Cochlea-Implantaten auf die Funktionsfähigkeit des Utriculus möglich war. Auch ein Alter jünger als zehn Jahre sowie anatomische Varianten (Anomalien), Meningitis oder Otoklerose als Ertaubungsursache galten als Ausschlusskriterium. Eine Altersgrenze nach oben bestand nicht. Es fand keine Vorauswahl hinsichtlich Geschlecht, Alter, Beruf, Familienstand oder sozialer Herkunft statt.

Nach Berücksichtigung dieser Ein- und Ausschlusskriterien wurden insgesamt 46 Patienten in die Studie eingeschlossen. Davon hatten sich zuvor 40 Patienten einer unilateralen sowie sechs Patienten einer bilateralen Cochlea-Implantation unterzogen. Es wurden somit insgesamt 52 Ohren seitengetreunt untersucht. Zusätzlich zu den Daten der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation und der subjektiven haptischen Vertikale wurden prä- und postoperative Daten für die kalorische und cVEMP-Messung aus den Akten ermittelt oder durch die entsprechende Funktionsdiagnostik erhoben. Des Weiteren erfolgte mit allen Patienten postoperativ sowie retrospektiv eine Evaluation der subjektiven Schwindelbeschwerden mit Hilfe des DHI. Die Ermittlung der Daten geschah in digitaler Form.

## 2 Messinstrumente

Zur Erhebung von Schwindelbeschwerden und vestibulärer Funktionsbeeinträchtigungen wurden in dieser Studie folgende Messinstrumente verwendet (Tabelle 5). Sie gelten als validiert, standardisiert und etabliert.

Fragebogenuntersuchung	Vestibuläre Funktionsdiagnostik
Dizziness Handicap Inventory	Kalorische Messung
	Cervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale
	Subjektive visuelle Vertikale bei exzentrischer Rotation
	Subjektive haptische Vertikale

**Tabelle 5:** Übersicht über die verwendeten Messinstrumente

In der Einleitung wurden diese Messinstrumente zusammen mit wichtigen Studienergebnissen bereits vorgestellt. Hier wird spezifisch auf den apparativen Aufbau, die Durchführung und die Auswertung der einzelnen Messungen Bezug genommen.

### 2.1 Fragebogenuntersuchungen

#### 2.1.1 Dizziness Handicap Inventory

Zur Evaluierung der individuellen Beeinträchtigung in Form von Schwindel- und Gleichgewichtsproblemen nach Cochlea-Implantation wurde in dieser Studie die deutsche Ausgabe des DHI eingesetzt.

Der Fragebogen besteht aus insgesamt 25 Items, die drei Subskalen zugeordnet werden können. Schwindel wird anhand körperlicher („P“: physisch), alltäglicher („F“: funktionell) und emotionaler Beeinträchtigungen („E“) evaluiert. Die Buchstaben „P“, „F“ und „E“ vor jeder Frage kennzeichnen die Zugehörigkeit des Items zu der jeweiligen Skala. Der Patient wird aufgefordert, jede Frage entweder mit „ja“, „nein“ oder „manchmal“ zu beantworten, wobei jede Frage nur in Hinblick auf Schwindel- oder Gleichgewichtsprobleme zu interpretieren ist. Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt der ersten zehn Items des deutschsprachigen DHI.

	ja	nein	manch mal
P 1 Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie nach oben schauen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E 2 Fühlen Sie sich wegen Ihrer Probleme frustriert?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F 3 Schränken Sie wegen Ihrer Probleme geschäftliche oder private Reisen ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P 4 Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie einen Gang im Supermarkt entlang gehen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F 5 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Schwierigkeiten beim ins Bett gehen oder beim Aufstehen aus dem Bett?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F 6 Schränken Ihre Probleme Sie deutlich ein, an gesellschaftlichen Aktivitäten teilzunehmen (z.B. auswärts essen gehen, Einladungen folgen, zu Parties gehen, ins Kino gehen, Theater oder Konzerte besuchen)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F 7 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Schwierigkeiten beim Lesen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P 8 Verstärken sich Ihre Probleme bei anspruchsvolleren Aktivitäten z.B. im Sport, beim Tanzen oder bei Hausarbeiten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E 9 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Angst, das Haus ohne Begleitung zu verlassen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E 10 Sind Sie wegen Ihrer Probleme schon einmal in eine peinliche Situation geraten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Abbildung 4:** Ausschnitt aus dem DHI – deutsche Ausgabe nach Kurre et al. (2009)<sup>39</sup>

Patienten, deren Fragebogen nicht bereits vorlag, erhielten diesen auf dem Postweg und wurden aufgefordert, ihn retrospektiv für fünf unterschiedliche Messzeitpunkte zu beantworten. Zudem wurde ihnen für jeden Messzeitpunkt zusätzlich eine offene Frage gestellt, die zur genaueren Evaluation der Schwindelsymptomatik in kurzer Form schriftlich beantwortet werden sollte. Tabelle 6 stellt die fünf Messzeitpunkte (T1–T5) vor, zu denen der DHI ausgefüllt werden sollte, sowie die jeweilige offen gestellte Frage.

Messzeitpunkt	Offene Frage
T1 Vor der Operation	Haben/hatten Sie vor der Operation Schwindelbeschwerden, Unsicherheitsgefühl, Drehschwindel oder Schwanken?
T2 Während des stationären Aufenthaltes	Haben/hatten Sie während des stationären Aufenthaltes Schwindelbeschwerden, Unsicherheitsgefühl, Drehschwindel oder Schwanken?
T3 Zwei Tage nach Entlassung aus dem Krankenhaus	Haben/hatten Sie zwei Tage nach Entlassung aus dem Krankenhaus Schwindelbeschwerden, Unsicherheitsgefühl, Drehschwindel oder Schwanken?
T4 Zum Zeitpunkt der Erstanpassung (ca. 6 Wochen nach der Operation)	Haben/hatten Sie zum Zeitpunkt der Erstanpassung Schwindelbeschwerden, Unsicherheitsgefühl, Drehschwindel oder Schwanken?
T5 Im weiteren Verlauf	Haben/hatten Sie im weiteren Verlauf Schwindelbeschwerden, Unsicherheitsgefühl, Drehschwindel oder Schwanken? Wenn ja, wie häufig und wie lange?

**Tabelle 6:** Messzeitpunkte des DHI und offene Fragen

Patienten, die nicht über den Postweg erreicht werden konnten, wurden im Falle einer Wiedervorstellung im Krankenhaus gebeten, den Fragebogen vor Ort auszufüllen. Für Patienten, bei denen der Fragebogen bereits im Rahmen der Behandlung vorlag, wurden lediglich drei Messzeitpunkte erhoben, die den oben angegebenen Zeitpunkten vor der Operation (T1), während des stationären Aufenthaltes (T2) und im weiteren Verlauf (T5) entsprachen. Für eine Vergleichbarkeit der statistischen Auswertung wurden nur der erste (T1) und letzte Messzeitpunkt (T5) zur Ermittlung der Ergebnisse verwendet, so dass jeweils eine präoperative und eine postoperative Messung vorlagen. Nur vollständig ausgefüllte Fragebögen wurden in die Auswertung einbezogen.

Bei der Auswertung wurden zuerst die Aussagen der offenen Fragen anhand der Antworten im jeweiligen DHI auf ihre Plausibilität überprüft. Für die Auswertung des DHI wurden den einzelnen Antworten Punktwerte zugeteilt, um somit eine Aussage über die Stärke der Beeinträchtigung des einzelnen Patienten durch Schwindel treffen zu können. Jedes „ja“ erhielt 4 Punkte, „manchmal“ 2 Punkte und „nein“ erhielt keinen Punkt. Diese Punktwerte wurden für jede der drei Skalen einzeln addiert. Das Maximum an erreichten Punkten lag bei der P-Skala mit 7 Items bei 28, bei der F- und E-Skala mit jeweils 9 Items bei 36. Insgesamt konnte somit eine Punktzahl zwischen 0 und 100 erreicht werden, wobei 0 für keine Beeinträchtigung durch Schwindel steht und 100 für eine sehr starke Beeinträchtigung. Um Schwindel- und Gleichgewichtsprobleme in verschiedene Schweregrade zu klassifizieren, wurden Gruppen abhängig von der erreichten Punktzahl gebildet (Tabelle 7).

Stärke von Schwindel	Punktwert
Stark:	P-Skala: 20–28 F-Skala: 26–36 E-Skala: 26–36 Gesamt: 70–100
Mittelgradig:	P-Skala: 10–18 F-Skala: 14–24 E-Skala: 14–24 Gesamt: 36–68
Gering:	P-Skala: 0–8 F-Skala: 0–12 E-Skala: 0–12 Gesamt: 0–34

**Tabelle 7:** Einteilung unterschiedlicher Schweregrade von Schwindel anhand der erreichten Punktwerte im DHI, getrennt für die drei Subskalen P, F und E sowie für die über alle Skalen insgesamt erreichte Punktzahl

Als pathologische Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen wurden im DHI-Gesamtscore alle Punktzahlen  $> 34$  gewertet, darunter liegende Werte galten als normal. Beim Vergleich zwischen prä- und postoperativem DHI-Gesamtscore wurde eine Differenz von  $> 6$  Punkten als signifikanter Unterschied gewertet.

Insgesamt wurden in der vorliegenden Arbeit 42 DHI zum präoperativen sowie 39 DHI zum postoperativen Messzeitpunkt ausgewertet.

## 2.2 Vestibuläre Funktionsdiagnostik

### 2.2.1 Kalorische Vestibularisprüfung

Für eine seitengetrennte thermische Reizung des Gleichgewichtsorgans, insbesondere des horizontalen Canalis semicircularis, wurde in dieser Studie die kalorische Vestibularisprüfung verwendet. Während der Versuchsdurchführung saß der Patient in aufrechter Position auf einem Stuhl, wobei sein Kopf um  $60^\circ$  zurückgeneigt war, um den horizontalen Bogengang vertikal auszurichten. Zusätzlich bekam der Patient eine lichtdichte Brille mit Infrarot-Sensoren aufgesetzt, die der videookulografischen Erfassung von Augenbewegungen während der Testung diente. Daher wurde der Patient auch aufgefordert, während der gesamten Testung trotz Dunkelheit die Augen offen zu halten. Nun wurde dem Patienten mittels eines Kalorisators (ATMOS Variotherm plus) über einen weichen Silikonschlauch Wasser mit einer Temperatur von exakt 30 bzw.  $44^\circ\text{C}$  über jeweils 30 Sekunden in den äußeren Gehörgang gespült (Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Versuchsdurchführung der kalorischen Funktionsprüfung

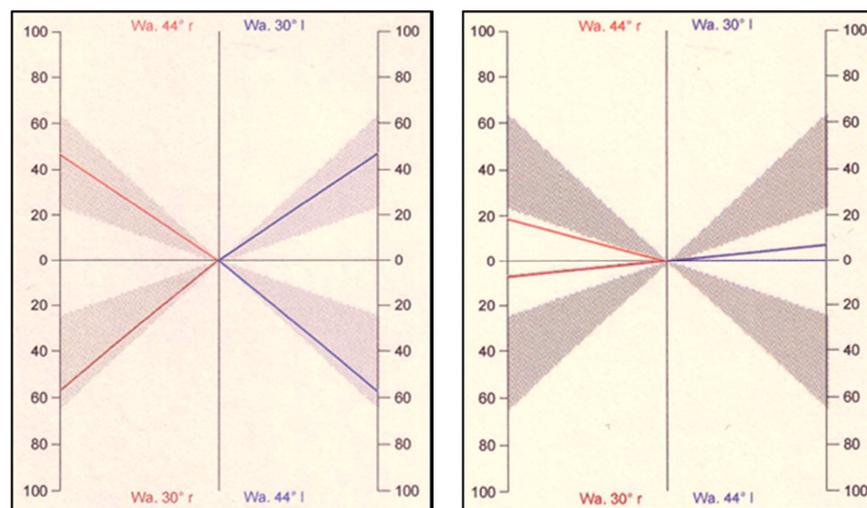
Für jeden Patienten wurden die Spülungen in einer definierten Reihenfolge durchgeführt, wobei zwischen zwei Spülungen stets eine Pause von mindestens sieben Minuten lag, um Reaktionsüberlagerungen zu vermeiden:

- Warmspülung (44 °C) rechter Gehörgang
- Warmspülung (44 °C) linker Gehörgang
- Kaltspülung (30 °C) rechter Gehörgang
- Kaltspülung (30 °C) linker Gehörgang

In der Zeit zwischen den Messungen wurden dem Patienten einfache Rechenaufgaben gestellt, um die Vigilanz aufrechtzuerhalten.

Vor jeder Versuchsdurchführung musste eine Trommelfellperforation ausgeschlossen werden, da hierbei eine kalorische Vestibularistestung mit Wasser kontraindiziert ist. In diesem Fall kann auf eine thermische Funktionsprüfung mittels temperierter Luft (warm 44, kalt 27 °C) und einer Spüldauer von 40 Sekunden zurückgegriffen werden.

Die durch die thermische Reizung ausgelösten Horizontalnystagmen wurden per VOG gemessen und mittels der Frequenz nach Claussen ausgewertet. Hierbei wurde in der Kulminationsphase von 30 Sekunden, beginnend mit der 61. bis zur 90. Sekunde, die Anzahl der Nystagmusauschläge addiert. Die Auswertung erfolgte für alle vier Spülungen einzeln, die Ergebnisse wurden grafisch in einem sogenannten Schmetterlingskalorigramm dargestellt. Abbildung 6 stellt ein solches Kalorigramm für eine normale und eine pathologische Bogengangsfunktion dar.



**Abbildung 6:** Schmetterlingskalorigramm – Nystagmusfrequenz innerhalb der Kulminationsphase (links: Normalbefund, rechts: pathologischer Befund)

Die Abbildung ermöglicht das Ablesen der Nystagmusfrequenz getrennt für jede Spülung sowie eine einfache Blickdiagnostik zur Beurteilung der normalen und seitengleichen Reaktion. Innerhalb der grau melierten Zonen liegt der Bereich der normalen Nystagmusreaktion bei thermischer Reizung. Bei weniger Nystagmusschlägen zeigt sich eine Nystagmushemmung mit einer Hypo- oder Areflexie, bei häufigeren Nystagmusschlägen handelt es sich um eine Nystagmu-

senhemmung mit einer Hyperreflexie. Tabelle 8 beinhaltet die in dieser Studie festgelegten Grenzen zur Bestimmung von Hyper-, Normo-, Hypo- und Areflexie anhand der Nystagmusfrequenz bei thermischer Reizung des horizontalen Bogenganges.

Hyperreflexie	> 62 Nystagmusfrequenz
Normoreflexie	62–24 Nystagmusfrequenz
Hyporeflexie	23–10 Nystagmusfrequenz
Areflexie	< 10 Nystagmusfrequenz

**Tabelle 8:** Einteilung der Nystagmusfrequenz in funktionelle Gruppen bei der kalorischen Vestibularisprüfung

Weiter erfolgte die Auswertung der Ergebnisse in eine „normale“ Bogengangsfunktion, in diese Gruppe gehörten sowohl die normoreflexen Antworten bei der thermischen Reizung als auch die hyperreflexen Reizantworten. Die Gruppe der „pathologischen“ Bogengangsfunktion wurde aus den hypo- und areflexen Reizantworten nach thermischer Bogengangs-Stimulation gebildet.

Bei Patienten, bei denen alle vier Spülungen durchgeführt worden waren, wurden die Kaltspülungen zur Auswertung verwendet, da diese als stärkerer Reiz bei der thermischen Funktionsprüfung gelten. Bei Nichtvorliegen der Kaltspülungen wurden die Warmspülungen herangezogen. Zum prä- und postoperativen Vergleich der kalorischen Ergebnisse wurde möglichst die gleiche Temperatur (44 oder 30 °C) wie auch das gleiche Medium (Luft oder Wasser) ausgewertet, nur in Einzelfällen kam es zum Vergleich unterschiedlicher Spülungen. Bei Patienten, die sehr stark von einem Spontannystagmus betroffen waren, wurden die Ergebnisse der thermischen Bogengangs-Stimulation stark verfälscht, so dass diese von der Auswertung ausgeschlossen wurden.

Insgesamt konnten in der vorliegenden Arbeit 44 Vestibularorgane zum präoperativen sowie 45 Vestibularorgane zum postoperativen Zeitpunkt mittels kalorischer Funktionsprüfung untersucht werden.

### 2.2.2 Cervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale

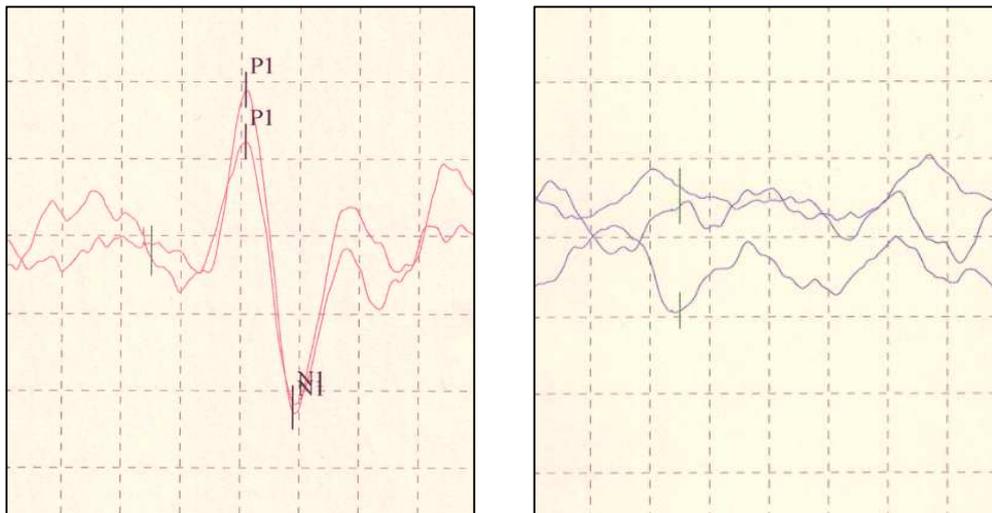
Die Funktionsprüfung des Sacculus erfolgte in dieser Studie über cervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale (cVEMPs). Die Macula sacculi wurde über einen akustischen Stimulus gereizt und die Reizantwort über ein EMG des Musculus sternocleidomastoideus erfasst. Hierzu wurden an der mit Alkohol vorgereinigten Haut des aufrecht sitzenden Patienten Elektroden befestigt. Auf einer Seite des Patienten wurde eine EMG-Elektrode in der Mitte des Musculus sternocleidomastoideus positioniert, außerdem eine Referenzelektrode über dem Sternum sowie eine Erdungselektrode auf dem Mastoid des Patienten. Nach Anbringung der Elektroden erfolgte

eine Kontrolle zur Messung der Widerstände, die unter 5 kOhm liegen sollten. Danach erhielt der Patient einen kleinen Einsteckhörer (Nicolet Biomedical Model TIP-300) in den äußeren Gehörgang des ipsilateralen Ohrs, über den die akustischen Reize appliziert wurden. Der Patient wurde aufgefordert, seinen Kopf möglichst weit zur Gegenseite zu drehen und das Kinn auf die Schulter zu legen, sodass der kontralaterale Musculus sternocleidomastoideus konstant angespannt war. Diese Position war während der ca. 30 Sekunden langen Messung beizubehalten (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Versuchsaufbau zur Messung von cervikal vestibulär evozierter myogener Potenziale

Bei der nun folgenden Messung wurden mittels der Software Viking Select Neuro-diagnostic System 10.0 über die Luftleitung Töne mit einer Frequenz von 500 Hz und 90 dB (nHL) appliziert. Über das EMG wurden die am Musculus sternocleidomastoideus ankommenden Reizantworten in Form inhibitorischer Potenziale registriert. Dabei wurden stets mehrere Töne aufeinanderfolgend abgegeben (130 Pulse mit einer Rate von 5 Hz) und die Reizantworten automatisch vom Computer gemittelt. Die Untersuchung erfolgt seitengetreunt zur unilateralen Funktionsüberprüfung des jeweiligen Sacculus. Außerdem wurde die Messung für jede Seite wiederholt, um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Reizantwort treffen zu können. Wenn keine Reizantwort mittels EMG gemessen werden konnte, wurde die Untersuchung unter Verwendung eines Knochenleitungshörers (Radioear B-71) wiederholt, der auf dem Mastoid leicht angeedrückt wurde und Stimuli mit einer Frequenz von 500 Hz und 85 dB (pSPL) applizierte. Abbildung 8 zeigt beispielhaft einen Normalbefund reproduzierbarer cervikaler vestibulär evozierter myogener Potenziale sowie einen pathologischen Befund, abgeleitet über dem Musculus sternocleidomastoideus während der akustischen Stimulation mittels Luftleitung.



**Abbildung 8:** cVEMPs über dem Musculus sternocleidomastoideus während akustischer Stimulation über die Luftleitung, Ordinate: Amplitude in  $\mu\text{V}$ , Abszisse: Zeit in ms (links: Normalbefund, rechts: pathologischer Befund)

Für die Auswertung wurden die aufgezeichneten Potenziale folgendermaßen analysiert. Zunächst wurde überprüft, ob ein typischer Potenzialkomplex nachgewiesen werden konnte, dieser besteht im Regelfall aus zwei Einzelwellen. Danach erfolgte die Überprüfung der Latenzzeiten der beiden Einzelwellen, der P-Welle nach ungefähr 13 ms und der N-Welle nach ungefähr 23 ms. Als wichtigstes Kriterium für die Funktionsfähigkeit des Sacculus galt die Reproduzierbarkeit der einzelnen Potenzialkomplexe. Fand sich in der zweiten Messung ein ähnlicher Potenzialkomplex wie zuvor in der ersten, so wurde dies als Normalbefund gewertet. Wurde der Patient nur einmalig der Sacculus-Stimulation ausgesetzt, zeigte hierbei aber einen typischen Potenzialkomplex, so galt auch dies als Normalbefund. Konnte hingegen kein oder ein untypischer Potenzialkomplex ausgemacht werden, so wurde dies als pathologische Sacculus-Funktion gewertet. In diesem Fall wurde anschließend die gegebenenfalls vorhandene Knochenleitungs-Messung in gleicher Weise analysiert. Fanden sich hierbei reproduzierbare Potenziale, so wurde die Sacculus-Funktion als normal angenommen. Fand sich hingegen auch hier keine Reproduzierbarkeit oder kein typischer Potenzialkomplex, galt die Sacculus-Funktion als pathologisch. Patienten, die präoperativ pathologische Werte zeigten und postoperativ normale, wurden erneut einbestellt, um das postoperative Ergebnis zu überprüfen. Bestand diese Ergebniskombination fort, mussten die jeweiligen Ergebnisse der cVEMPs aus der Studie ausgeschlossen werden, da ein präoperativer Messfehler als wahrscheinlich galt. Lag hingegen bei einem Patienten lediglich ein postoperatives Ergebnis vor und war dieses normal, so konnte auch das präoperative Ergebnis als normal vorausgesetzt werden, da eine pathologische Funktion des Sacculus durch Cochlea-Implantation nicht aufgehoben werden kann.

Insgesamt wurden in dieser Arbeit präoperativ 41 sowie postoperativ 44 Vestibularorgane auf ihre Sacculus-Funktion mittels cVEMPs untersucht.

### 2.2.3 Subjektive visuelle Vertikale bei exzentrischer Rotation

Zur Messung der Utriculus-Funktion nach Cochlea-Implantation wurden in der vorliegenden Studie zwei Verfahren miteinander kombiniert. Die exzentrische Rotation diente hierbei der einseitigen Stimulation der Macula utriculi, wobei gleichzeitig die subjektive visuelle Vertikale zur Bewertung der vestibulären Beeinträchtigung zum Einsatz kam.

Während des Versuchs saß der Patient aufrecht in einem speziellen Drehstuhl (DIFRA GigaTorque), der Kopf war hierbei fixiert. Der Patient trug eine lichtdicht abgeschlossene Brille (DIFRA 8 NysStar II) mit integriertem Leuchtdisplay. In beiden Händen hielt er jeweils einen kleinen Joystick mit einer Handtaste (Abbildung 9).

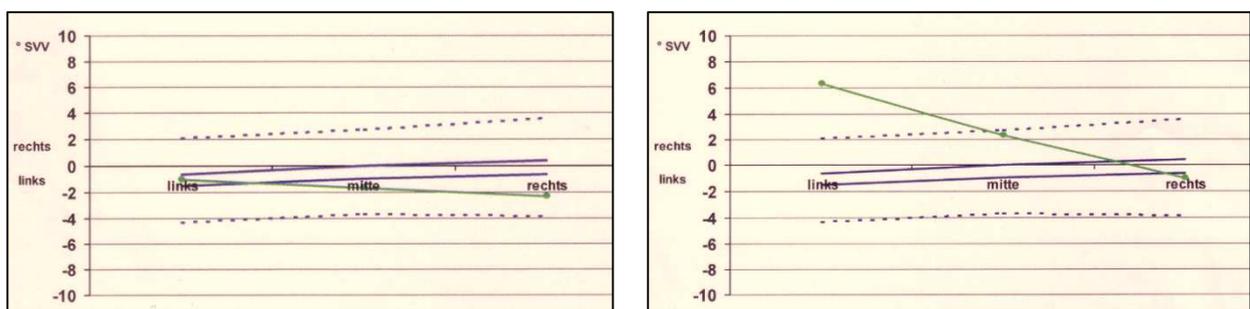


**Abbildung 9:** Durchführung der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation

Der Drehstuhl beschleunigte auf eine maximale Drehgeschwindigkeit von  $300^\circ/\text{s}$  und drehte danach linear weiter. Die Drehung des Stuhls wurde in drei unterschiedlichen Positionen durchgeführt:

1. Das Drehzentrum des Stuhls befand sich in Mittellage, es erfolgte eine zentrische Rotation.
2. Das Drehzentrum des Stuhls wurde 2,5 cm nach rechts verschoben, es erfolgte eine exzentrische Rotation mit Reizung der äußeren (rechten) Macula utriculi.
3. Das Drehzentrum des Stuhls wurde 2,5 cm nach links verschoben, es erfolgte eine exzentrische Rotation mit Reizung der äußeren (linken) Macula utriculi.

Nach Abklingen der Drehbeschleunigung wurde dem Patienten ein weißer Balken im Leuchtdisplay seiner Brille präsentiert und der Patient aufgefordert, diesen in eine für ihn vertikale Lage zu bringen. Dazu benutzte er die beiden Handtasten der Joysticks, die den Balken in die eine oder andere Richtung drehen können. Der Patient informierte den Untersucher, sobald er der Meinung war, den Balken in die Vertikale gebracht zu haben, daraufhin wurde die Rotation beendet. Die Drehung erfolgte in jeder Position dreimal. Der Computer maß anhand der Software (Disoft) die Abweichungen des vom Patienten positionierten Balkens von der tatsächlichen Vertikalen in Winkelgraden. Die Ergebnisse wurden automatisch gemittelt und in eine Grafik übertragen (Abbildung 10).



**Abbildung 10:** Abweichung der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation in Winkelgraden (links: Normalbefund, rechts: pathologischer Befund des linken Utriculus)

In einer solchen Grafik lässt sich erkennen, ob Abweichungen normal oder pathologisch sind. Die obere und die untere gestrichelte Linie geben hierbei den Normalbereich an, der mit Hilfe einer Vergleichsgruppe ohne Funktionsbeeinträchtigungen ermittelt wurde. Befinden sich die Abweichungen innerhalb dieser Linien, ist die Utriculus-Funktion als normal zu betrachten, liegt ein Wert außerhalb des Referenzbereichs, so ist von einer Utriculus-Dysfunktion der gemessenen Seite auszugehen.

Tabelle 9 gibt getrennt für das linke und rechte Vestibularorgan die Grenzwerte an, ab denen von einer pathologischen Utriculus-Funktion auszugehen ist.

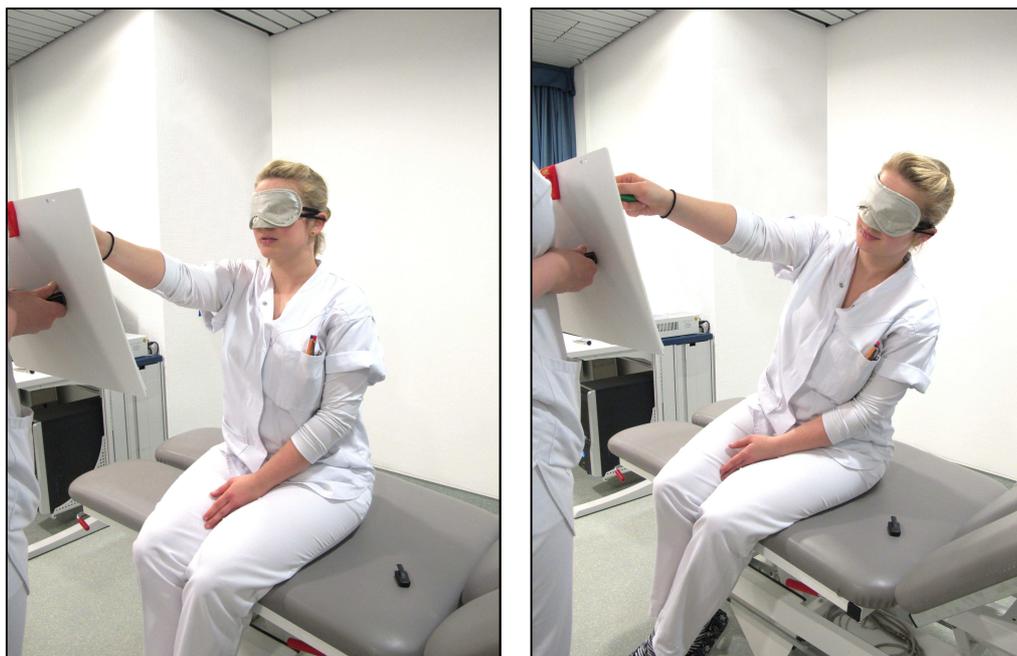
Links	Rechts
$\geq + 2,3^\circ$ pathologisch	$\geq + 4^\circ$ pathologisch
$\leq - 4,7^\circ$ pathologisch	$\leq - 4,3^\circ$ pathologisch

**Tabelle 9:** Grenzwerte der svV bei exzentrischer Rotation, getrennt für den linken und rechten Utriculus

Lag bei einem Patienten lediglich ein Ergebnis der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation zum postoperativen Messzeitpunkt vor und fand sich dieses im Normalbereich, so wurde die präoperative Utriculus-Funktion ebenfalls als normal vorausgesetzt, da ein bestehender Funktionsausfall auf Seiten des Utriculus durch Cochlea-Implantation nicht reversibel ist.

#### 2.2.4 Subjektive haptische Vertikale

Als ein weiteres Verfahren wurde die subjektive haptische Vertikale (shV) in der vorliegenden Studie verwendet. Hierbei handelt es sich um eine vestibuläre Diagnostik, welche die Funktion des Utriculus evaluiert. Während der Untersuchung saß der Proband in aufrechter Position auf einer Liege. Die Lagewahrnehmung des Patienten über die Propriozeption wurde eingeschränkt, indem er keinen Kontakt mit den Füßen zum Boden hatte. Die visuelle Lagewahrnehmung im Raum wurde über eine lichtdichte Augenklappe vollständig unterdrückt. Der Proband wurde nun aufgefordert, eine möglichst senkrechte Linie auf ein vor ihm platziertes horizontal ausgerichtetes DIN-A3-Papier zu zeichnen. Dazu wurde der Stift des Patienten durch eine helfende Person auf einen vorgegebenen Startpunkt geführt. Danach wurde der Patient erst in eine 20°-Rechts- und anschließend in eine 20°-Linksseitenlage gebracht, wobei darauf zu achten war, dass er seine Position auf der Liege nicht veränderte und weiterhin kein Kontakt zum Fußboden bestand (Abbildung 11). In beiden Positionen wurde der Patient jeweils erneut aufgefordert, eine senkrechte Linie, parallel zur vorangegangenen Linie, auf das weiterhin horizontal ausgerichtete Blatt zu zeichnen. In jeder der drei Sitzpositionen erfolgten jeweils drei Zeichenversuche.



**Abbildung 11:** Versuchsdurchführung der svV (links: in aufrechter Körperhaltung, rechts: in 20°-Linksseitenlage)

Jeder Versuch wurde vom Untersucher einzeln ausgewertet, dabei wurde die Abweichung der gezeichneten von der tatsächlichen senkrechten Linie in Winkelgraden bestimmt. Eine Abweichung der Linie von bis zu  $\pm 10^\circ$  gilt als normwertig. In dieser Studie wurde die subjektive haptische Vertikale eingesetzt, wenn kein Ergebnis der exzentrischen Rotation vorlag. Analog zur exzentrischen Rotation mit subjektiver visueller Vertikale erfolgte die Auswertung der Daten, je nach Befund, in die beiden nominal skalierten Werte „pathologisch“ bei Abweichungen von  $> 10^\circ$  und „normal“ bei Abweichungen  $\leq 10^\circ$ . Lag bei einem Patienten lediglich ein postoperatives Ergebnis zur Utriculus-Funktionsdiagnostik vor und war dieses normal, so wurde ebenfalls ein Normalwert für den präoperativen Messzeitpunkt vorausgesetzt, da eine Normalisierung einer pathologischen Utriculus-Funktion durch Cochlea-Implantation auszuschließen ist.

Somit konnte in der vorliegenden Arbeit die Utriculus-Funktion von insgesamt 52 Vestibularorganen sowohl zum prä- als auch zum postoperativen Messzeitpunkt anhand der svV bei exzentrischer Rotation, ergänzt durch die Ergebnisse der shV, untersucht werden.

### **3 Statistische Auswertung**

Für die statistische Auswertung wurden die erhobenen Daten sowie die Daten aus den Patientenakten zusammengetragen und in das Datenverarbeitungsprogramm Microsoft Excel 2010 überführt. Zum Zwecke des Datenschutzes wurden alle Patienten anonymisiert, indem jedem Cochlea-Implantat eine eigene CI-Nummer zugeteilt wurde. Unter Verwendung des Statistikprogramms IBM SPSS Statistics – Version 21 erfolgte schließlich die Auswertung der Daten anhand deskriptiver (beschreibender) und explorativer (analytischer) Statistik.

Das Patientenkollektiv wurde mittels deskriptiver Statistik in Bezug auf „Alter bei Operation“, „Geschlecht“, „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ sowie in Bezug auf Kombinationen dieser Merkmale ausgewertet. Die Ergebnisse wurden in Form von Tabellen und Diagrammen dargestellt.

Die Auswertung des DHI erfolgte jeweils für die entsprechenden Messzeitpunkte und für alle Subskalen sowie den Gesamtscore getrennt. Anhand von Diagrammen wurden die Ergebnisse veranschaulicht und die beiden Messzeitpunkte einander gegenübergestellt. Unter Verwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden die Daten des DHI auf Normalverteilung geprüft. Die getrennte Analyse der beiden Messzeitpunkte auf Unterschiede hinsichtlich der dichotomen Variablen „Altersgruppe“, „Geschlecht“, „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ sowie der Kombination aus den Merkmalen „Altersgruppe“ und „Geschlecht“ erfolgte anhand nicht-parametrischer Testverfahren. Da sich diese Analyse der Stichproben jeweils auf einen Messzeitpunkt bezog, wurde der Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Das

Signifikanzniveau wurde für alle durchgeführten parametrischen und nicht-parametrischen Tests auf  $p < 0,05$  festgelegt. Der Vergleich der prä- und postoperativen Stichprobe auf signifikante Unterschiede erfolgte anhand des Wilcoxon-Tests für zwei verbundene, nicht normalverteilte Stichproben. Individuell wurde die Differenz des prä- und postoperativen DHI-Gesamtscores berechnet und auf signifikante Veränderungen untersucht. Unter Verwendung des Wilcoxon-Tests erfolgte zusätzlich der Vergleich beider Messzeitpunkte in Bezug auf die dichotomen Merkmale „Altersgruppe“, „Geschlecht“, „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ sowie die Kombination von „Altersgruppe“ und „Geschlecht“.

Die Auswertung der vestibulären Schädigung erfolgte für die drei vestibulären Rezeptoren (Canalis semicircularis, Sacculus und Utriculus) getrennt. Es wurden jeweils die Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der jeweiligen Funktionsdiagnostik für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt ermittelt. Auf Ebene der Utriculus-Diagnostik erfolgte dies getrennt für die Ergebnisse der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation sowie für den um die Ergebnisse der subjektiven haptischen Vertikale ergänzten Datensatz. Ebenso erfolgte eine Auswertung der individuellen Abweichungen der svV bei exzentrischer Rotation. Die Ergebnisse wurden anhand von Tabellen und Diagrammen dargestellt. Die Daten beider Messzeitpunkte wurden getrennt voneinander bezüglich der Merkmale „Altersgruppe“, „Geschlecht“, „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ sowie der Kombination von „Altersgruppe“ und „Geschlecht“ auf signifikante Unterschiede überprüft. Da sich der Vergleich jeweils auf einen Messzeitpunkt bezog, wurde die Auswertung mittels Chi-Quadrat-Test für unabhängige Stichproben vorgenommen bzw. mittels Fisher-Test bei erwarteten Häufigkeiten  $< 5$ . Der Vergleich prä- mit postoperativer Stichprobe erfolgte anhand des McNemar-Tests für abhängige Stichproben für jede vestibuläre Funktionsdiagnostik getrennt. Die Utriculus-Diagnostik wurde sowohl für die svV bei exzentrischer Rotation ausgewertet als auch für den mit den Ergebnissen der shV Vertikale ergänzten Datensatz. Lediglich für die Abweichungen der subjektiven visuellen Vertikale wurde ein T-Test für abhängige Stichproben verwendet, nachdem die Abweichungen der svV anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung überprüft worden waren. Der McNemar-Test fand erneut Anwendung beim Vergleich der beiden Messzeitpunkte in Bezug auf die Merkmale „Altersgruppe“, „Geschlecht“, „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ sowie die Kombination von „Altersgruppe“ und „Geschlecht“.

Zur Analyse von Zusammenhängen wurden die normalen und pathologischen Ergebnisse aller Untersuchungen zu beiden Messzeitpunkten und für jeden Patienten einzeln tabellarisch aufgelistet und auf Schädigungsmuster hin analysiert. Zur grafischen Darstellung der Zusammenhänge wurden Streudiagramme erstellt. Bei der Überprüfung von Zusammenhängen zwischen postope-

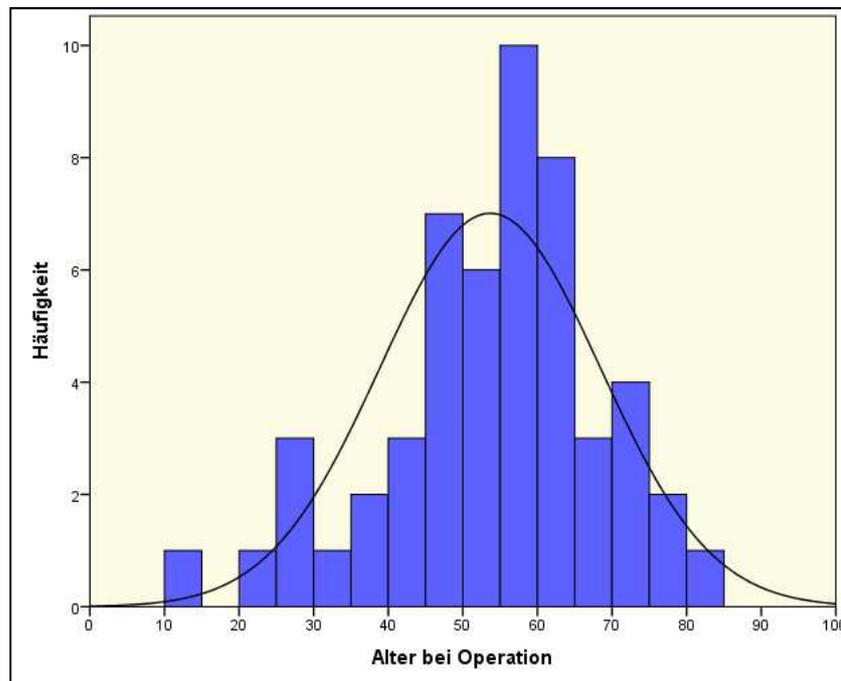
rativem subjektivem Schwindel (DHI-Gesamtscore) und postoperativen vestibulären Funktionsstörungen (kalorische Testung, cVEMPs und exzentrische Rotation) erfolgte eine Berechnung des Korrelationskoeffizienten  $r$  und der Signifikanz  $p$  anhand des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman. Bei signifikanten Korrelationen wurden zusätzlich partielle Korrelationen berechnet, um Scheinkorrelationen, verursacht durch Störvariablen wie „Alter bei Operation“, „Geschlecht“, „CI-Versorgung“ oder „operierte Seite“, aufzudecken. Die genannten Merkmale wurden außerdem auf Zusammenhänge mit den Ergebnissen des DHI sowie denen der vestibulären Funktionsdiagnostik überprüft. Wenn nur eine der beiden zu testenden Variablen in Ordinal- oder Intervallskalenniveau ohne Normalverteilung vorlag, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman verwendet. Dieser Test fand ebenso Anwendung bei der Überprüfung des Zusammenhangs zweier dichotomer Variablen.

### III Ergebnisse

#### 1 Auswertung des Patientenkollektivs

Unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden insgesamt 52 Ohren in die Studie eingeschlossen und einer entsprechenden Funktionsdiagnostik unterzogen.

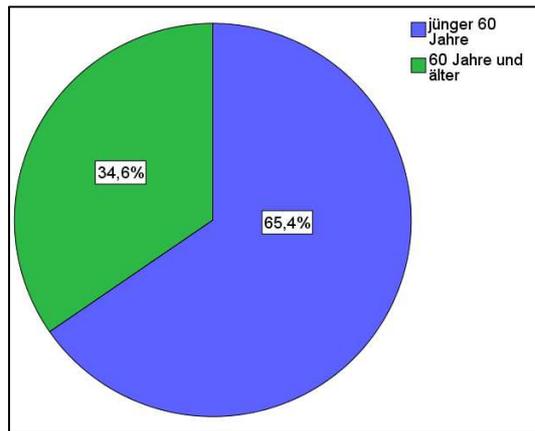
Das Durchschnittsalter bei Operation betrug 53,7 Jahre  $\pm$  14,8 (Median 57,5 Jahre), wobei der jüngste Patient 11 und der älteste 82 Jahre alt war (Spannweite: 71 Jahre). Abbildung 12 zeigt die Altersverteilung des ausgewerteten Patientenkollektivs mittels Histogramm und integrierter Normalverteilungskurve.



**Abbildung 12:** Häufigkeiten von Altersgruppen zum Zeitpunkt der Cochlea-Implantation (n = 52)

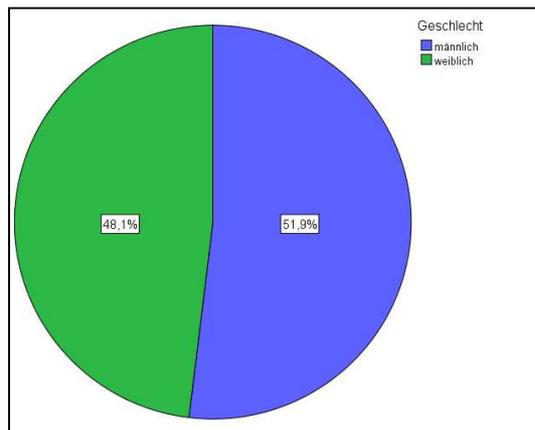
Der Abbildung ist zu entnehmen, dass über 50 % der Patienten zum Zeitpunkt der Operation zwischen 45 und 65 Jahre alt waren (31 von 52 Patienten), mit einem absoluten Altersgipfel zwischen dem 55. und 60. Lebensjahr (10 Patienten). Die Daten sind hinreichend normalverteilt, wie sich mittels Kolmogorov-Smirnov-Test belegen ließ ( $p = 0,363$ ).

Bei der Einteilung des Patientenkollektivs in zwei Altersgruppen stellte die Gruppe „jünger als 60 Jahre“ mit 34 Patienten 65,4 % der Gesamtpopulation (Abbildung 13). Das durchschnittliche Alter dieser Gruppe betrug 46,5 Jahre  $\pm$  12,6 (Median 49 Jahre). Die übrigen 18 Patienten (34,6 %) entfielen auf die Gruppe „60 Jahre und älter“, diese besaß ein Durchschnittsalter von 67,2 Jahre  $\pm$  7,0 (Median 66 Jahre).



**Abbildung 13** Anteil der Patienten „jünger als 60 Jahre“ und „60 Jahre und älter“

Von den insgesamt 52 untersuchten Vestibularorganen gehörten 27 (51,9 %) Besitzer dem männlichen und 25 (48,1 %) dem weiblichen Geschlecht an (Abbildung 14).



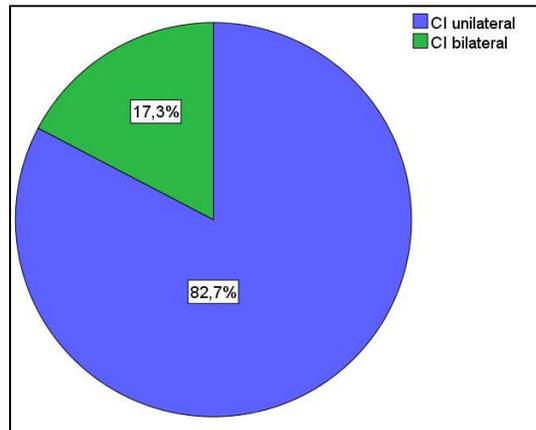
**Abbildung 14:** Anteil der männlichen und weiblichen Studienteilnehmer in Prozent (n = 52)

Das Durchschnittsalter des männlichen Patientenkollektivs betrug 54,7 Jahre  $\pm$  14 (Median 59 Jahre), das des weiblichen 52,5 Jahre  $\pm$  15,9 (Median 54 Jahre).

Die Häufigkeit des „männlichen“ und „weiblichen“ Merkmals war in der Gruppe „60 Jahre und älter“ ausgeglichen. In der jüngeren Altersgruppe überwogen die männlichen Patienten mit 52,9 %. Hier betrug das Durchschnittsalter 51,6 Jahre  $\pm$  12,4 (Median 53,5 Jahre). Das Durchschnittsalter der weiblichen Patienten lag mit 46,6 Jahren  $\pm$  12,1 (Median 48 Jahre) darunter. In der Altersgruppe  $\geq$  60 Jahre betrug das Durchschnittsalter der Männer 68,6 Jahre  $\pm$  8,0 (Median 63 Jahre), das der Frauen lag mit 70,8 Jahren  $\pm$  6,9 (Median 68) darüber.

In Hinblick auf die Implantationsseite wurden 24 Patienten (46,2 %) mit einem linksseitig sowie 28 Patienten (53,8 %) mit einem rechtsseitig implantierten Cochlea-Implantat erfasst.

Zudem hatten neun der untersuchten Patienten zuvor eine bilaterale Cochlea-Implantat Versorgung erhalten. Aufgrund der Ein- und Ausschlusskriterien wurden hiervon sechs Patienten für beide Seiten getestet, drei Patienten nur für die jeweils zuletzt implantierte Seite. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung konnten entsprechend 43 Ohren einer unilateralen und 9 Ohren einer bilateralen Versorgung zugeordnet werden (Abbildung 15).

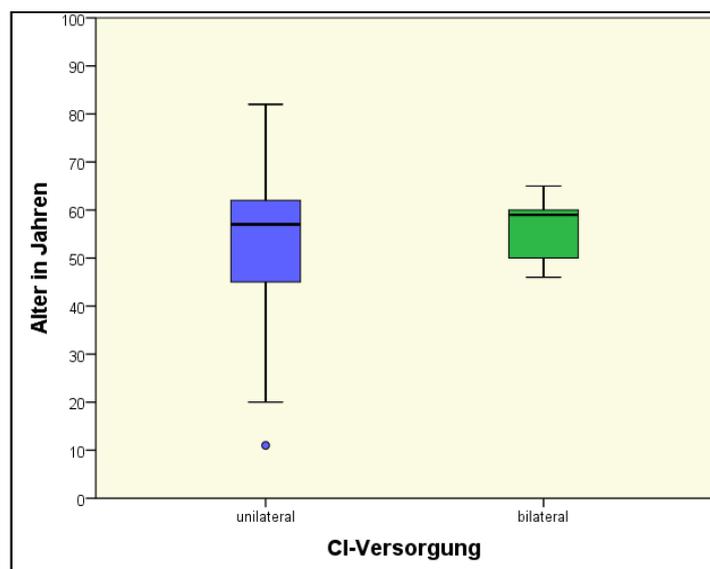


**Abbildung 15:** Prozentualer Anteil von bi- und unilateraler Versorgung mit Cochlea-Implantat (n = 52)

In der Gruppe der unilateral versorgten Patienten fanden sich insgesamt 20 männliche sowie 23 weibliche Patienten. Eine bilaterale Cochlea-Implantation lag hingegen bei 7 männlichen und 2 weiblichen Patienten vor.

Der Altersdurchschnitt in der Gruppe der unilateral versorgten Patienten betrug 53,3 Jahre  $\pm$  16,0 (Median 57 Jahre), in der Gruppe der bilateral versorgten 55,6 Jahre  $\pm$  6,5 (Median 59 Jahre).

Diese Altersverteilung wird grafisch in Abbildung 16 dargestellt.



**Abbildung 16:** Altersverteilung in Bezug auf uni- und bilaterale CI-Versorgung (n = 52)

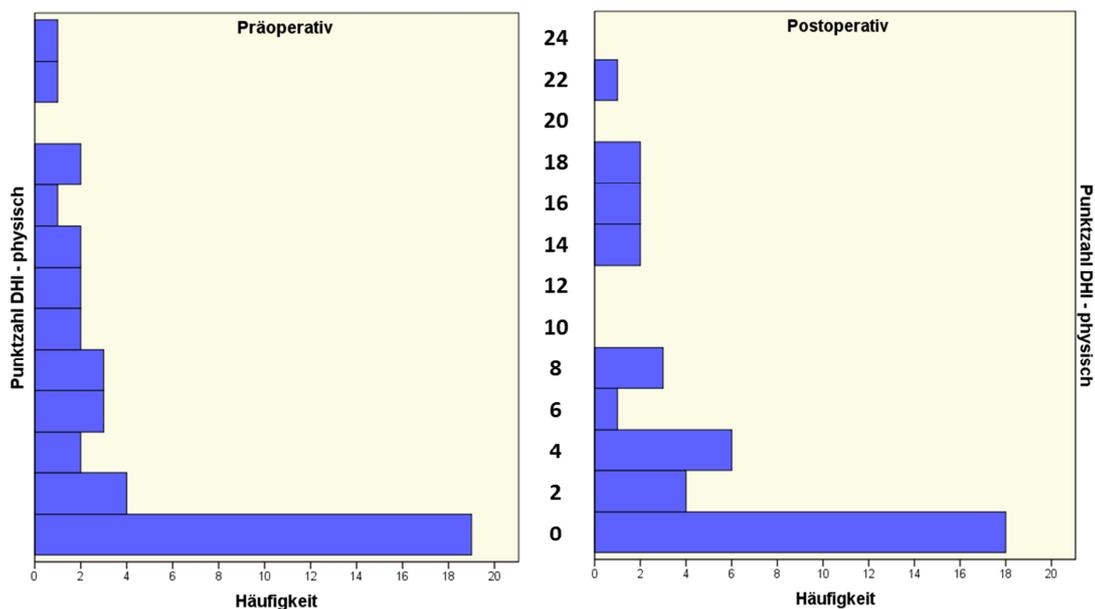
Im Durchschnitt waren Patienten mit einer bilateralen Cochlea-Implantat-Versorgung etwas älter als jene mit nur einem Implantat: Die Differenz des Medians beträgt 2 Jahre. Auffällig ist eine sehr geringe Varianz (42,3) sowie Spannweite (19 Jahre) bei zweiseitiger Versorgung. Die Varianz bei einseitiger Versorgung ist deutlich größer (256,9), ebenso die Spannweite mit 71 Jahren.

## 2 Auswertung der Fragebogenuntersuchung

Für den prä- und postoperativen Zeitpunkt konnte der DHI jeweils für 39 Patienten ausgewertet werden. Für den präoperativen Messzeitpunkt T1 lagen zusätzlich drei weitere vollständig ausgefüllte Fragebögen vor, zu denen keine zugehörigen postoperativen Ergebnisse zur Verfügung standen.

### a) DHI – physische Skala

Zum Messzeitpunkt T1 betrug die durchschnittlich erreichte Punktzahl der physischen Skala des DHI  $5,4 \pm 6,9$  (Median 2 Punkte). Nach Implantation zum Messzeitpunkt T5 war die durchschnittlich erreichte Punktzahl niedriger und lag bei  $4,6 \pm 6,4$  (Median 2 Punkte). Abbildung 17 stellt die Häufigkeiten der erreichten Punktzahlen der physischen Skala für den prä- und postoperativen Zeitpunkt im direkten Vergleich grafisch dar.

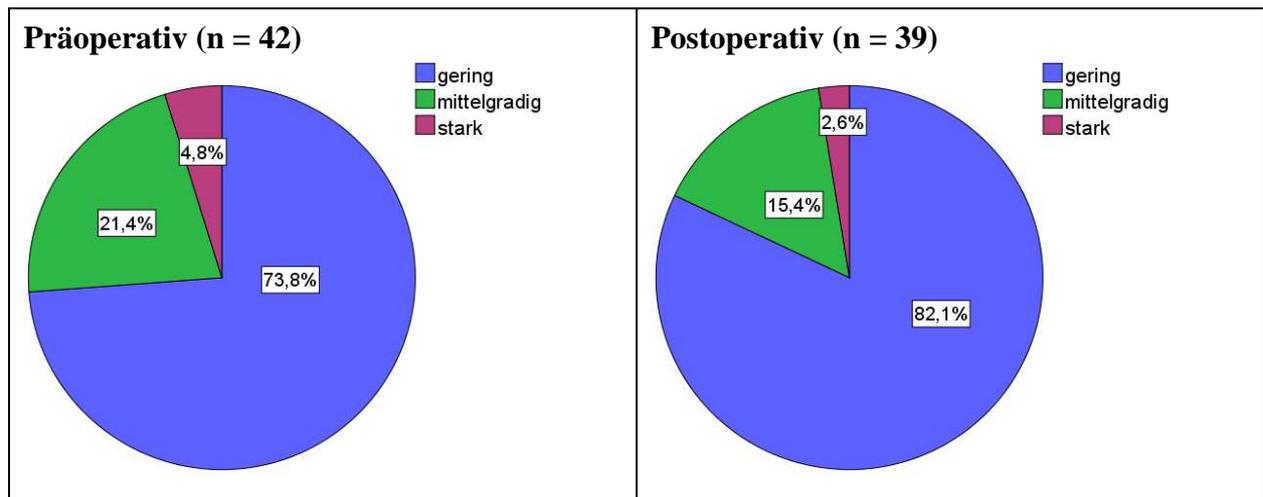


**Abbildung 17:** Absolute Häufigkeiten der erreichten Punktzahl im DHI – physische Skala (links: Messzeitpunkt T1 mit n = 42, rechts: Messzeitpunkt T5 mit n = 39)

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass sowohl zum prä- als auch zum postoperativen Messzeitpunkt die meisten Patienten keine physischen Beeinträchtigungen durch Schwindel angaben und

somit null Punkte auf der P-Skala erreichten. Die höchste erzielte Punktzahl (24) findet sich in der Gruppe vor Cochlea-Implantation. In der Gruppe nach Implantation beträgt die höchste Punktzahl 22.

In Abhängigkeit von der erzielten Punktzahl im DHI-Score wurden die Patienten nach Stärkegraden der Schwindelbeschwerden in drei Gruppen eingeteilt. Abbildung 18 stellt die prozentualen Anteile der Schweregrade für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt grafisch dar.

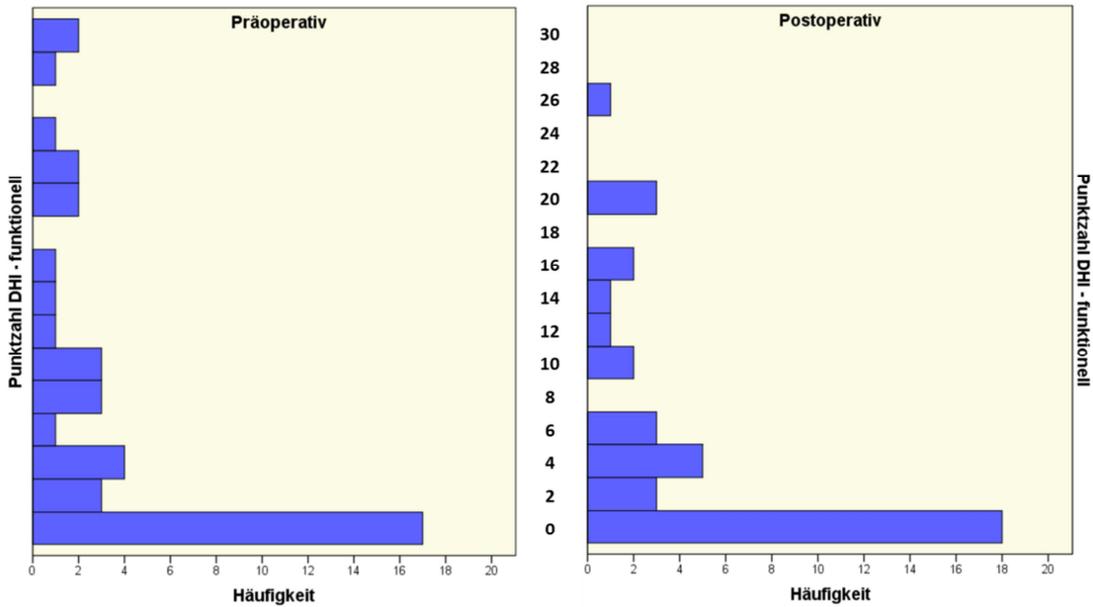


**Abbildung 18:** Prozentuale Anteile der Schweregrade von Schwindel im untersuchten Patientenkollektiv, erhoben anhand der physischen DHI-Skala

Die Kreisdiagramme zeigen, dass postoperativ der Anteil geringer Schwindelbeschwerden um 8,3 Prozentpunkte ansteigt. Der Anteil mittelgradiger und starker Schwindelbeschwerden nimmt hingegen um 6 bzw. 2,2 Prozentpunkte ab.

## b) Funktionelle Skala

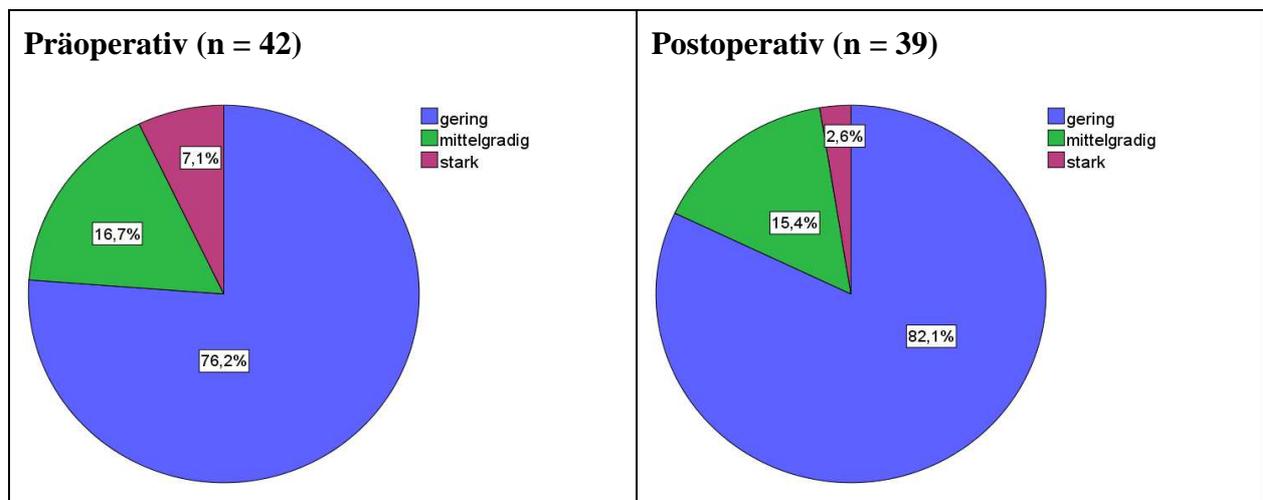
Die durchschnittlich erreichte Punktzahl auf der funktionellen Skala des DHI zum präoperativen Messzeitpunkt T1 betrug  $7,62 \pm 9,5$  (Median 4,0 Punkte), zum postoperativen Zeitpunkt T5  $5,33 \pm 7,3$  (Median 2,0 Punkte). Abbildung 19 stellt die Verteilung der erreichten Punktzahlen der funktionellen DHI-Skala im direkten Vergleich für den prä- und postoperativen Zeitpunkt grafisch dar.



**Abbildung 19:** Absolute Häufigkeiten der erreichten Punktzahl im DHI – funktionelle Skala (links: Messzeitpunkt T1 mit n = 42, rechts: Messzeitpunkt T5 mit n = 39)

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass die am häufigsten erreichte Punktzahl zu beiden Messzeitpunkten 0 beträgt. Diese Patienten gaben dementsprechend keine funktionellen Beschwerden durch Schwindel an. Präoperativ zeigten diesen Wert insgesamt 17 Patienten, postoperativ 18. Der höchste erreichte Wert von 30 Punkten lag bei zwei Personen präoperativ vor. Postoperativ betrug der höchste Wert 26 Punkte und wurde von einer Person erreicht.

Aus den erreichten Punktzahlen ergeben sich die folgenden Häufigkeiten für starken, mittelgradigen und geringen Schwindel prä- und postoperativ für die funktionelle Skala des DHI (Abbildung 20).

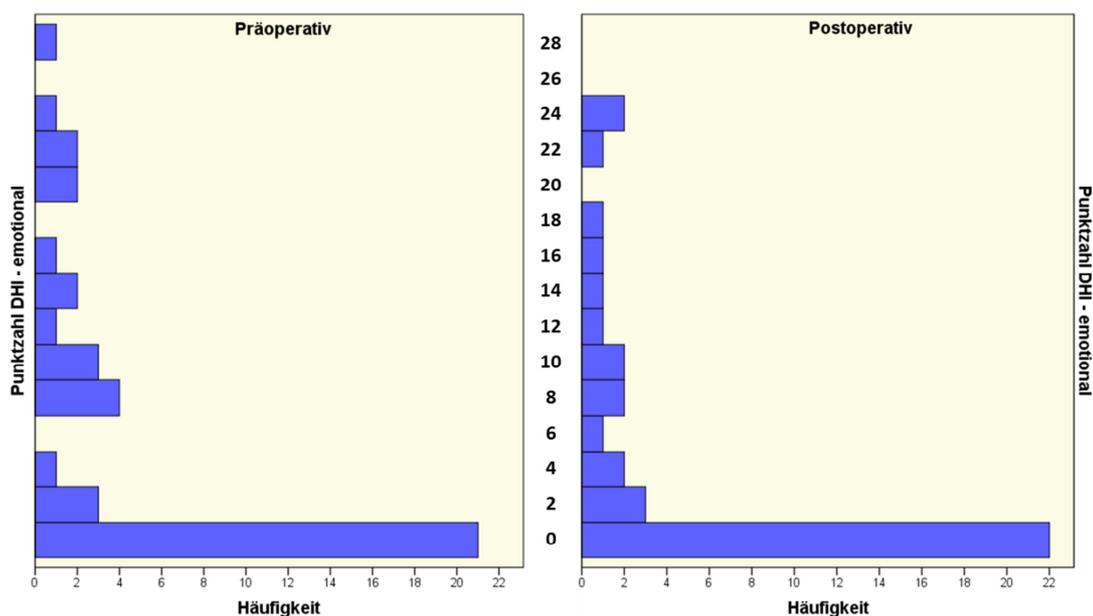


**Abbildung 20:** Prozentuale Anteile der Schweregrade von Schwindel im untersuchten Patientenkollektiv, erhoben anhand der funktionellen DHI-Skala

Analog zur physischen DHI-Skala steigt auch hier der Anteil geringgradigen Schwindels postoperativ um 5,9 Prozentpunkte an. Der Anteil an Patienten mit mittelgradigen Schwindelsymptomen sinkt um 1,3 Prozentpunkte und jener mit starken Beschwerden um 4,5 Prozentpunkte.

### c) Emotionale Skala

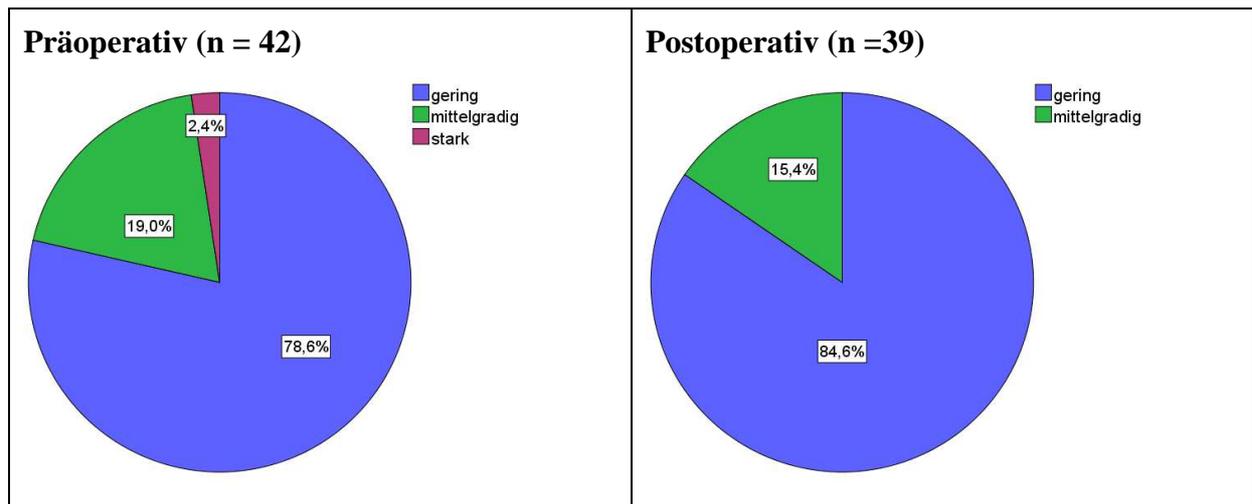
Zum präoperativen Zeitpunkt T1 lag die durchschnittlich erreichte Punktzahl der emotionalen DHI-Skala bei  $6,29 \pm 8,3$  (Median 1,0 Punkte). Postoperativ veränderte sich dieser Mittelwert auf 4,77 Punkte  $\pm 7,4$  (Median 0 Punkte). Abbildung 21 stellt die Punktwertverteilung der emotionalen DHI-Skala für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt im direkten Vergleich grafisch dar.



**Abbildung 21:** Absolute Häufigkeiten der erreichten Punktzahl im DHI – emotionale Skala (links: Messzeitpunkt T1 mit n = 42, rechts: Messzeitpunkt T5 mit n = 39)

Wie zuvor auf der physischen und funktionellen Skala des DHI erreichten auch hier die meisten Patienten sowohl prä- als auch postoperativ 0 Punkte. Präoperativ waren dies 21 Patienten, postoperativ gaben 22 Patienten keine emotionalen Beeinträchtigungen durch Schwindel an. Die höchste Punktzahl betrug 28 und wurde von einer Person präoperativ erreicht. Postoperativ lag die höchste Punktzahl zweimal bei 24.

In Abhängigkeit von der jeweils erreichten Punktzahl wurden die Patienten in Gruppen mit geringen, mittelgradigen oder starken Schwindelbeschwerden eingeteilt. In Abbildung 22 sind die prozentualen Anteile dieser Schweregrade im direkten Vergleich für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt dargestellt.

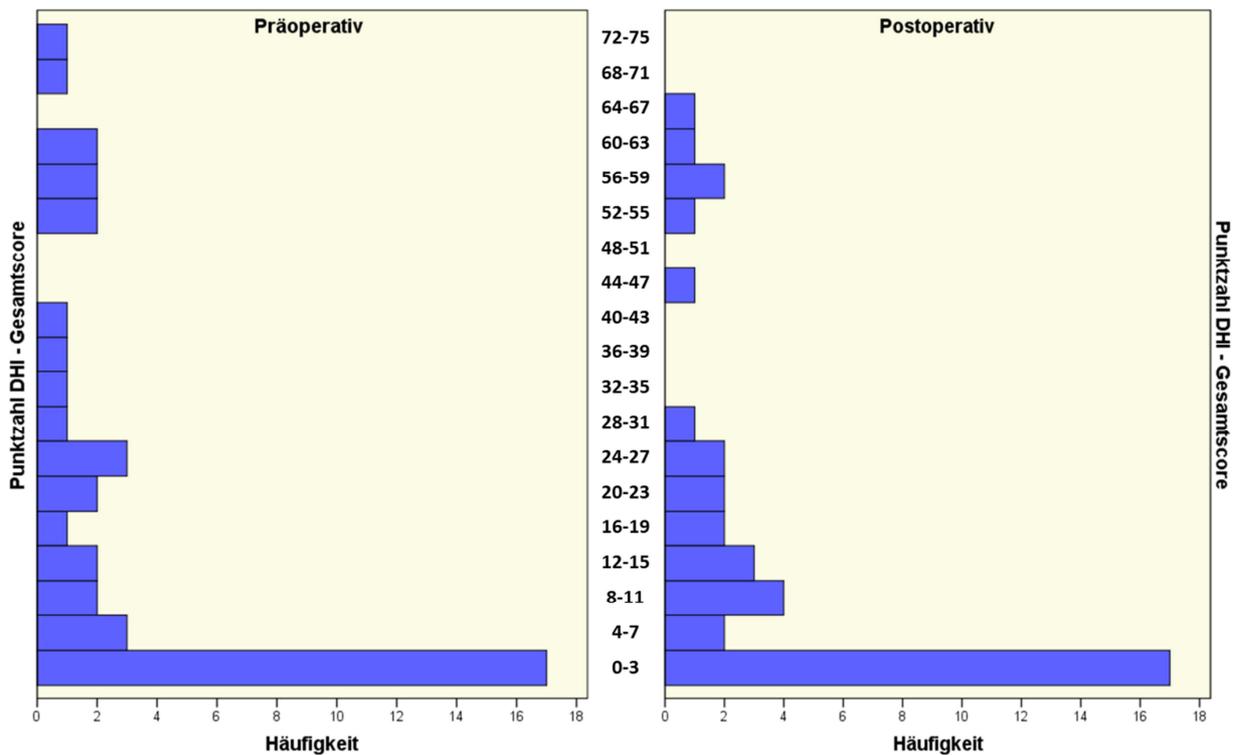


**Abbildung 22:** Prozentuale Anteile der Schweregrade von Schwindel im untersuchten Patientenkollektiv, erhoben anhand der emotionalen DHI-Skala

Der Anteil geringgradigen Schwindels erhöht sich von prä- zu postoperativ um 6 Prozentpunkte. Verringert hat sich hingegen der Anteil mittelgradigen Schwindels, mithin um 3,6 Prozentpunkte. Starker Schwindel wird postoperativ auf der emotionalen DHI-Skala nicht mehr gemessen, wobei davon präoperativ eine Person (2,4 %) betroffen war.

#### d) DHI-Gesamtscore

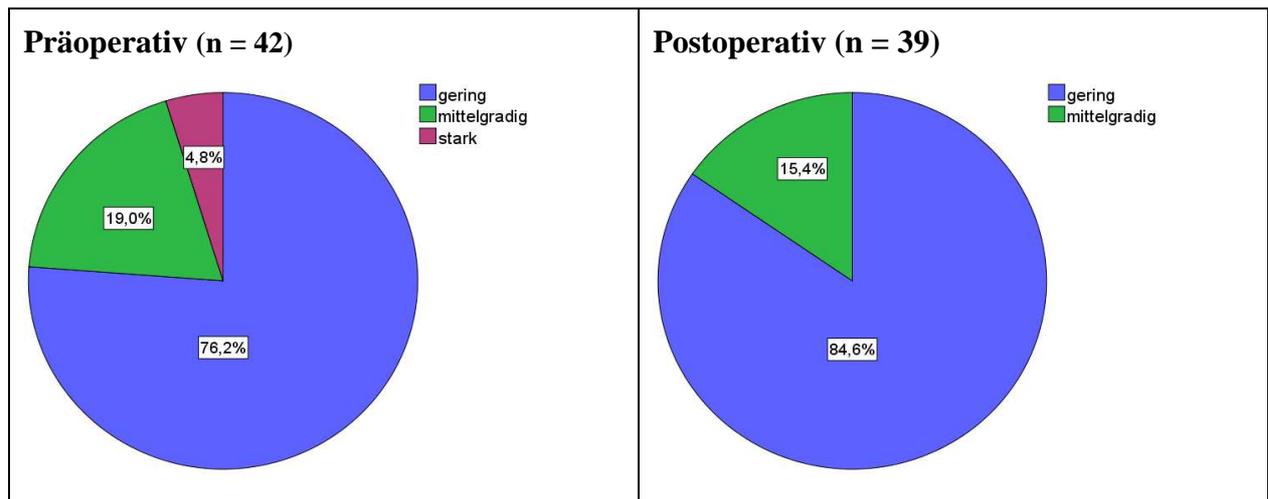
Die durchschnittlich erreichte Punktzahl über alle drei Skalen des DHI lag zum Messzeitpunkt T1 (präoperativ) bei  $19,3 \pm 23,4$  (Median 8,0 Punkte). Zum Messzeitpunkt T5 (postoperativ) verringerte sie sich auf  $14,7 \pm 19,9$  (Median 8,0 Punkte). Abbildung 23 stellt die Punktwertverteilung für den Gesamtscore des DHI zum prä- und postoperativen Zeitpunkt grafisch dar.



**Abbildung 23:** Absolute Häufigkeiten der erreichten Punktzahl im DHI – Gesamtscore (links: Messzeitpunkt T1 mit n = 42, rechts: Messzeitpunkt T5 mit n = 39)

Da die Verteilung der einzelnen Punktzahlen für alle drei Skalen des DHI eine ähnliche Struktur aufwies, gestaltet sich auch die Verteilung des Gesamtscores in gleicher Weise. Sowohl prä- also auch postoperativ befinden sich im Bereich 0–4 Punkte 17 Personen. Der höchste erreichte Wert findet sich präoperativ im Bereich 72–76 Punkte. Postoperativ liegt er darunter, mithin im Bereich 64–68 Punkte.

Aus den erreichten Punktzahlen ergeben sich die folgenden Häufigkeiten für starken, mittelgradigen und geringen Schwindel für den DHI-Gesamtscore zum prä- und postoperativen Zeitpunkt (Abbildung 24).



**Abbildung 24:** Prozentuale Anteile der Schweregrade von Schwindel im untersuchten Patientenkollektiv, erhoben anhand des DHI-Gesamtscores

Auch bei der Einteilung der Schweregrade von Schwindel ergibt sich für den Gesamtscore ein ähnliches Bild wie für die drei Subskalen im Einzelnen. Postoperativ nimmt der Anteil von geringgradigem Schwindel um 8,4 Prozentpunkte zu, der mittelgradige Schwindel nimmt hingegen um 3,6 Prozentpunkte ab. Starker Schwindel trat postoperativ gar nicht auf, wobei präoperativ zwei Patienten (4,8 %) davon betroffen waren.

Bei der weiteren Analyse des DHI-Gesamtscores in Bezug auf die Merkmale „operierte Seite“, „CI-Versorgung“, „Geschlecht“ und „Altersgruppe“ wurde anhand des Mann-Whitney-U-Tests für unverbundene Stichproben auf signifikante Unterschiede in diesen Merkmalen zum prä- und postoperativen Zeitpunkt getestet. Die Ergebnisse sind im Folgenden tabellarisch dargestellt.

Operierte Seite:

	Links		Rechts		p-Wert
Präoperativ	17,1 ± 22,3	n = 17	20,9 ± 24,4	n = 25	0,692
Postoperativ	14,4 ± 19,1	n = 16	15,0 ± 20,9	n = 23	0,944

**Tabelle 10:** Mittelwert und Standardabweichung der DHI-Punktzahl getrennt für die linke und rechte operierte Seite jeweils zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt. Der p-Wert beschreibt die Signifikanz des Unterschiedes der beiden zu vergleichenden Stichproben

Bei Implantation der rechten Seite finden sich zu beiden Messzeitpunkten jeweils höhere DHI-Scores. Indes unterscheiden sich die prä- und die postoperative Stichprobe nicht signifikant in Bezug auf das Merkmal „operierte Seite“ ( $p > 0,05$ ).

### CI-Versorgung:

	Unilateral		Bilateral		p-Wert
Präoperativ	21,5 ± 24,7	n = 34	10,0 ± 13,8	n = 8	0,284
Postoperativ	16,8 ± 21,3	n = 31	6,5 ± 10,8	n = 8	0,203

**Tabelle 11:** Mittelwert und Standardabweichung der DHI-Punktzahl getrennt für uni- und bilaterale Cochlea-Implantat-Versorgung jeweils zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt. Der p-Wert beschreibt die Signifikanz des Unterschiedes der beiden zu vergleichenden Stichproben

Patienten mit einseitiger Cochlea-Implantat-Versorgung erzielten durchschnittlich höhere Punktzahlen im DHI als zweiseitig implantierte Patienten. Dies gilt sowohl für den prä- als auch für den postoperativen Messzeitpunkt. Dennoch unterscheiden sich die Stichproben nicht signifikant in Bezug auf die uni- oder bilaterale Implantation ( $p > 0,05$ ).

### Geschlecht:

	Männer		Frauen		p-Wert
Präoperativ	17,5 ± 23,0	n = 23	21,6 ± 24,2	n = 19	0,363
Postoperativ	13,9 ± 20,0	n = 21	15,7 ± 20,4	n = 18	0,707

**Tabelle 12:** Mittelwert und Standardabweichung der DHI-Punktzahl getrennt für das männliche und weibliche Geschlecht zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt. Der p-Wert beschreibt die Signifikanz des Unterschiedes der beiden zu vergleichenden Stichproben

Obleich der Mittelwert der erreichten Punktzahlen im DHI bei Frauen sowohl prä- als auch postoperativ höher ist als bei Männern, konnte mittels Mann-Whitney-U-Test kein signifikanter Unterschied der Stichproben in Bezug auf das Geschlecht gefunden werden ( $p > 0,05$ ).

### Altersgruppen:

	Jünger als 60 Jahre		60 Jahre und älter		p-Wert
Präoperativ	14,2 ± 16,8	n = 25	26,8 ± 29,6	n = 17	0,518
Postoperativ	11,17 ± 13,5	n = 24	20,4 ± 26,8	n = 15	0,921

**Tabelle 13** Mittelwert und Standardabweichung der DHI-Punktzahl getrennt für die beiden Altersgruppen „jünger als 60 Jahre“ und „60 Jahre und älter“ zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt. Der p-Wert beschreibt die Signifikanz des Unterschiedes der beiden zu vergleichenden Stichproben

Die Gruppe der ab 60-Jährigen erzielte sowohl prä- als auch postoperativ die höheren Mittelwerte im Gesamtscore des DHI. Ausgehend von der berechneten Irrtumswahrscheinlichkeit p mittels Mann-Whitney-U-Test sind diese Unterschiede jedoch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Bei der Bildung von Gruppen über die beiden Merkmale „Altersgruppe“ und „Geschlecht“ erhält man die folgenden Mittelwerte und Standardabweichungen des DHI-Gesamtscores, getrennt für beide Messzeitpunkte (Tabelle 14).

	Jünger als 60 Jahre			60 Jahre und älter		
	Männer	Frauen	p-Wert	Männer	Frauen	p-Wert
Präoperativ	15,6 ± 17,2 (n = 14)	12,6 ± 16,9 (n = 11)	0,727	20,4 ± 31,0 (n = 9)	34,0 ± 28,1 (n = 8)	0,321
Postoperativ	14,0 ± 16,3 (n = 13)	7,8 ± 9,0 (n = 11)	0,392	13,8 ± 26,1 (n = 8)	28,0 ± 27,5 (n = 7)	0,232

**Tabelle 14** Mittelwert und Standardabweichung der DHI-Punktzahl getrennt für die beiden Altersgruppen „jünger als 60 Jahre“ und „60 Jahre und älter“ sowie für das Geschlecht „männlich“ und „weiblich“, getrennt für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt. Der p-Wert beschreibt die Signifikanz des Unterschiedes der beiden zu vergleichenden Stichproben

In der jüngeren Altersgruppe bis 59 Jahre erzielten Männer sowohl prä- als auch postoperativ im Durchschnitt die höheren Werte im DHI. Betrachtet man hingegen die ältere Altersgruppe ab 60 Jahre, so sind es zu beiden Messzeitpunkten die Frauen, die einen höheren Mittelwert im DHI erlangten. Die aufgezeigten Unterschiede sind jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney-U-Test mit  $p > 0,05$ ).

In Tabelle 15 sind die wichtigsten Kennwerte zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt (T1/T5) für alle Subskalen des DHI sowie für den Gesamtscore aufgeführt. Die Werte zum Messzeitpunkt T1 weichen von den oben angegebenen ab, da zum Vergleich der prä- und postoperativen Daten nur Ergebnisse Verwendung fanden, die für beide Messzeitpunkte vollständig vorlagen (n = 39). Zusätzlich wird in der Tabelle die Irrtumswahrscheinlichkeit p angegeben, die eine Aussage über signifikante Unterschiede zwischen den Stichproben tätigt.

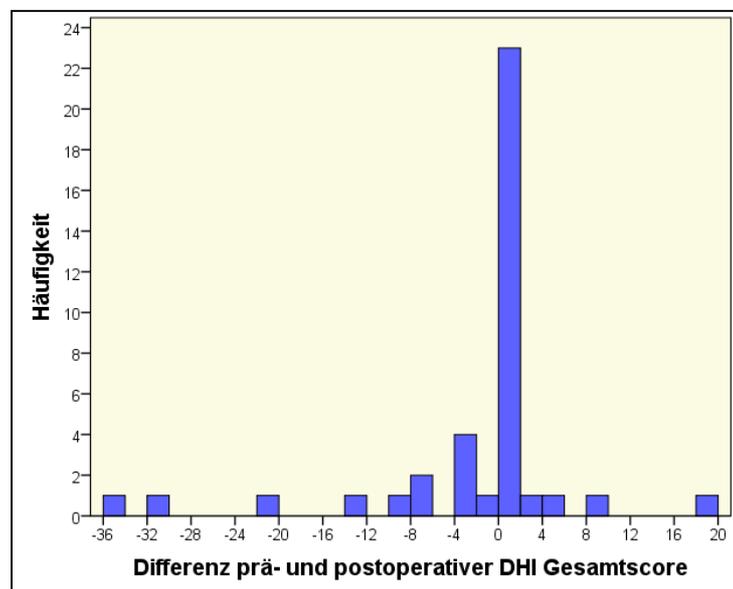
	Messzeit- Punkt	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum/ Maximum	Median	p-Wert
Physische Beeinträchtigung	T1	5,4	7,1	0 / 24	2	0,179
	T5	4,6	6,4	0 / 22	2	
Funktionelle Beeinträchtigung	T1	6,7	8,8	0 / 30	2	<b>0,039</b>
	T5	5,3	7,3	0 / 26	2	
Emotionale Beeinträchtigung	T1	5,6	8,2	0 / 28	0	0,134
	T5	4,8	7,4	0 / 24	0	

Gesamtscore	T1	17,7	23,0	0 / 74	6	<b>0,040</b>
	T5	14,7	19,9	0 / 66	8	

**Tabelle 15** Werte der Subskalen und des Gesamtscores des DHI, p-Wert berechnet mittels Wilcoxon-Test zum Vergleich der jeweiligen prä- und postoperativen Daten

Die Tabelle zeigt, dass die berechneten Mittelwerte für alle Subskalen sowie den Gesamtscore zum präoperativen Zeitpunkt jeweils höher sind als postoperativ. Die Patienten gaben dementsprechend präoperativ mehr Beeinträchtigungen durch Schwindel an als nach der Cochlea-Implantation. Beim statistischen Vergleich der prä- und postoperativen Werte ermittelte der Wilcoxon-Test keine signifikanten Unterschiede zwischen prä- und postoperativer Stichprobe hinsichtlich der P- und E-Skala ( $p > 0,05$ ). Für die F-Skala sowie den Gesamtscore fand sich hingegen ein signifikantes Ergebnis mit ( $p < 0,05$ ), insofern unterscheiden sich die Mittelwerte dieser Skalen nicht zufällig. Nach Cochlea-Implantation gaben Patienten somit signifikant weniger funktionelle Beschwerden durch Schwindel- und Gleichgewichtsprobleme an als präoperativ.

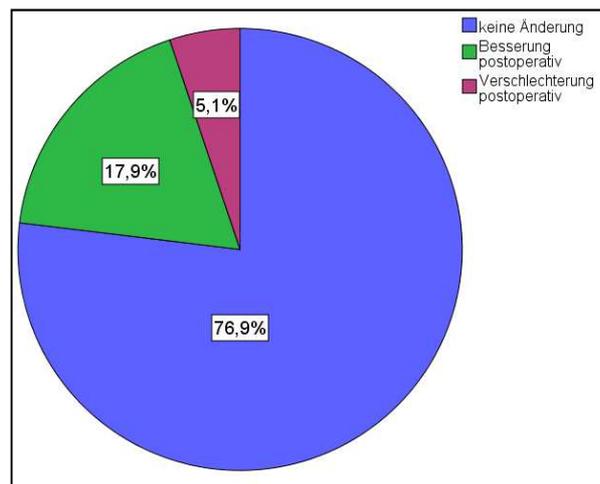
Zur Betrachtung signifikanter Veränderungen des DHI-Gesamtscores für das Individuum wurde jeweils die Punktzahl des präoperativen Ergebnisses von der des postoperativen Ergebnisses subtrahiert. Die Häufigkeit der einzelnen Differenzen zeigt Abbildung 25.



**Abbildung 25:** Differenz prä- und postoperativer Punktwerte im DHI-Gesamtscore für das Individuum und ihre absoluten Häufigkeiten in der Patientenpopulation (n = 39)

In 23 Fällen kam es zwischen den beiden Messzeitpunkten zu keinen Veränderungen des DHI-Gesamtscores. Eine Differenz im negativen Bereich entspricht einer Besserung der Schwindelbe-

schwerden nach Cochlea-Implantation. Die größte erreichte Differenz betrug hierbei –36 Punkte. Eine positive Differenz entspricht einer Verschlechterung der Schwindelbeschwerden postoperativ, der höchste erreichte Wert lag hier bei 20. Erst ab einer Punkt-Differenz von > 6 wird von einer signifikanten Veränderung des DHI-Scores ausgegangen. Dies betraf insgesamt 9 Patienten, wobei sich die Schwindelbeschwerden bei 7 Patienten postoperativ signifikant besserten, bei zweien hingegen verschlechterten (Abbildung 26).



**Abbildung 26:** Prozentuale Anteile signifikanter Verbesserungen, Verschlechterungen und keiner Veränderungen im DHI-Gesamtscore zwischen prä- und postoperativem Messzeitpunkt (n = 39)

Ein Vergleich der prä- und postoperativen Stichproben getrennt für das männliche (n = 21) und weibliche (n = 18) Geschlecht ergab weder auf einer der Subskalen des DHI noch auf dem Gesamtscore einen signifikanten Unterschied ( $p > 0,05$ ). Das Gleiche galt für die beiden Gruppen „jünger als 60 Jahre“ und „60 Jahre und älter“ sowie beim Vergleich der beiden Messzeitpunkte für die „jüngere“ und „ältere Altersgruppe“ hinsichtlich des Merkmals „Geschlecht“.

Bei Betrachtung des Merkmals „operierte Seite“ mit links n = 16 und rechts n = 23 zu beiden Messzeitpunkten fand sich indes ein signifikanter Unterschied zwischen der prä- und postoperativen Stichprobe für die F-Skala des DHI bei rechtsseitig implantierten Patienten mit  $p = 0,028$ . Demnach zeigten Patienten, die ein Cochlea-Implantat der rechten Seite tragen, signifikant weniger funktionelle Beeinträchtigungen durch Schwindel nach der Operation als zuvor.

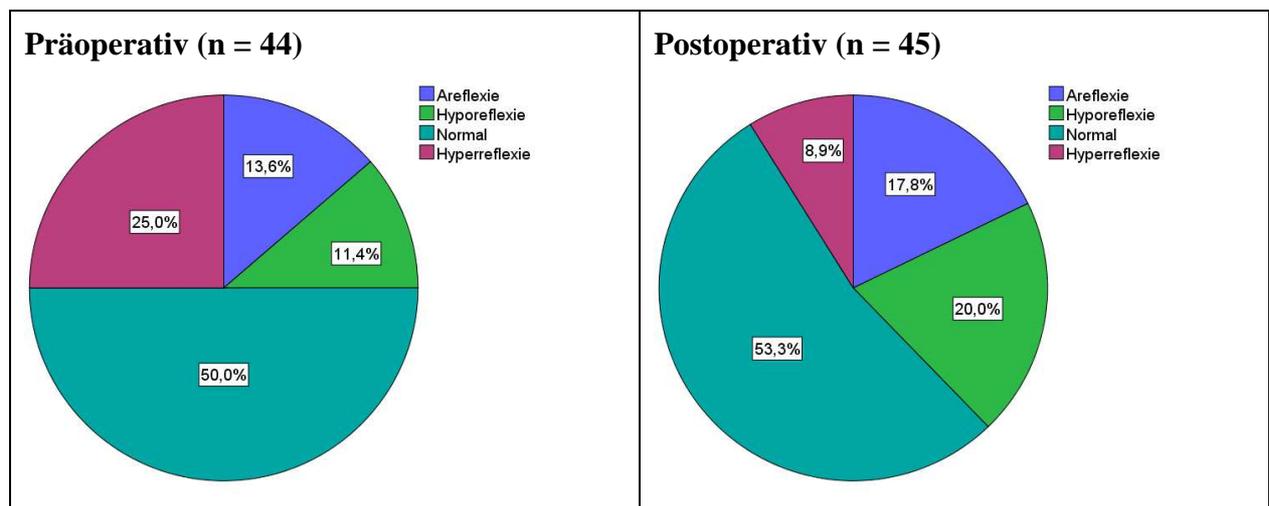
Auch beim Vergleich der beiden Messzeitpunkte in Bezug auf die „CI-Versorgung“ fand sich ein signifikanter Unterschied der unilateral implantierten Patienten (n = 31) sowohl für die funktionelle DHI-Skala als auch für den Gesamtscore ( $p < 0,05$ ). Die Schwindelbeschwerden nahmen demnach bei einseitig implantierten Patienten postoperativ signifikant ab. Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Messzeitpunkten für die Gruppe der bilateral implantierten Patienten (n = 8) bestand hingegen für keine der DHI-Skalen.

### 3 Auswertung der vestibulären Funktionsdiagnostik

#### 3.1 Bogengangsdiagnostik

Präoperativ wurden die Ergebnisse der thermischen Reizung des Canalis semicircularis für 44 Vestibularorgane ausgewertet, wobei bei fünf Ergebnissen das zugehörige postoperative Ergebnis fehlte. Postoperativ wurden 45 thermische Funktionsprüfungen ausgewertet, hier fehlten bei sechs Werten jeweils die präoperativen Daten. Insgesamt standen somit 39 Datensätze zur Verfügung, die vollständige Angaben sowohl zum prä- als auch zum postoperativen Messzeitpunkt machen konnten.

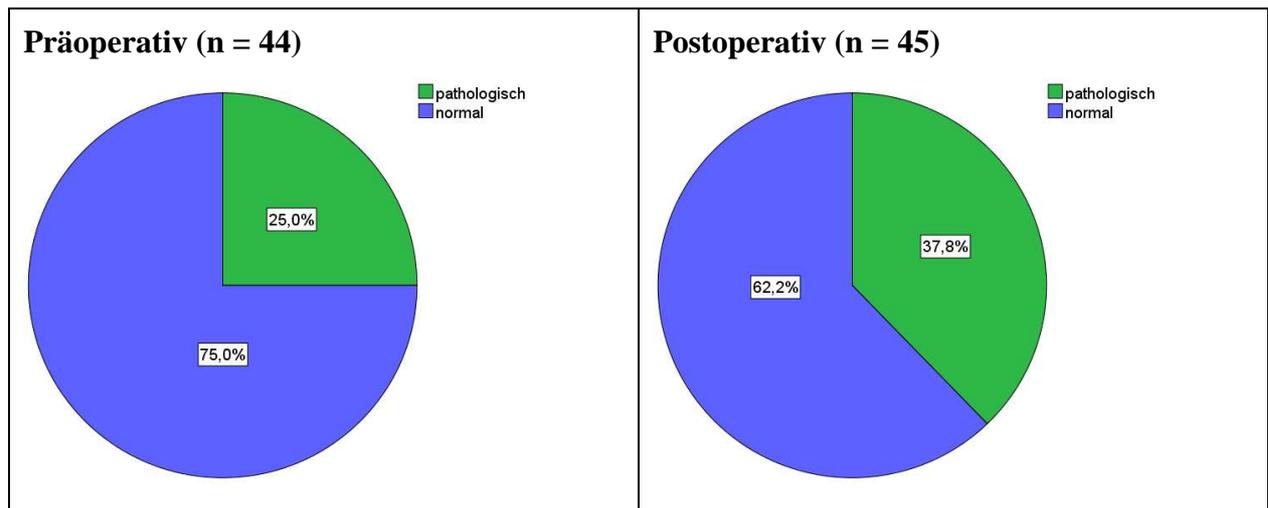
Die prozentualen Anteile der einzelnen Reflexantworten nach thermischer Reizung des horizontalen Bogenganges, getrennt für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt, veranschaulicht Abbildung 27.



**Abbildung 27:** Prozentuale Anteile der unterschiedlichen Reflexantworten bei der kalorischen Funktionsprüfung des horizontalen Bogenganges

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass postoperativ der Anteil normaler Bogengangsreaktionen nach thermischer Reizung leicht angestiegen ist (3,3 Prozentpunkte), während der Anteil an hyperreflexen Reizantworten um 16,1 Prozentpunkte abnimmt. Eine Hyporeflexie trat postoperativ um 8,6, eine Areflexie um 4,2 Prozentpunkte häufiger auf.

Bei der Zusammenfassung der Reflexantworten in „normale“ und „pathologische“ Ergebnisse der Kalorik erhalten wir die folgenden Häufigkeiten zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt (Abbildung 28).



**Abbildung 28:** Prozentuale Anteile pathologischer und normaler Ergebnisse bei der kalorischen Funktionsdiagnostik

Den beiden Kreisdiagrammen ist zu entnehmen, dass der Anteil an Funktionsstörungen des horizontalen Bogenganges postoperativ um 12,8 Prozentpunkte zunimmt.

Bei der Überprüfung des Einflusses verschiedener Merkmale (operierte Seite, CI-Versorgung, Geschlecht und Altersgruppe) auf die Ergebnisse zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt fanden sich die folgenden Häufigkeiten „normaler“ und „pathologischer“ Bogengangsfunktionen. Anhand des Chi-Quadrat-Tests bzw. des Fisher-Tests wurden außerdem signifikante Unterschiede ermittelt (Tabelle 16).

		Präoperativ			Postoperativ		
		Norm.	Pathol.	p-Wert	Norm.	Pathol.	p-Wert
OP-Seite	Links	16	5	0,862	14	7	0,565
	Rechts	17	6		14	10	
CI-Versorgung	Unilateral	26	9	1,000*	22	14	1,000*
	Bilateral	7	2		6	3	
Geschlecht	Männlich	17	5	0,728	15	10	0,731
	Weiblich	16	6		13	7	
Altersgruppe	< 60 Jahre	21	9	0,456*	14	14	<b>0,030</b>
	≥ 60 Jahre	12	2		14	3	
< 60 Jahre Geschlecht	Männlich	11	4	1,000*	8	9	0,699
	Weiblich	10	5		6	5	

≥ 60 Jahre	Männlich	6	1	1,000*	7	1	1,000*
Geschlecht	Weiblich	6	1		7	2	

**Tabelle 16:** Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der Funktionsdiagnostik des horizontalen Bogenganges in Bezug auf die unterschiedlichen Merkmale (erste Tabellenspalte). Signifikante Unterschiede p in Bezug auf die Merkmale, getrennt für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt, berechnet anhand des Chi<sup>2</sup>-Tests (\* Verwendung des Fisher-Tests bei erwarteten Häufigkeiten < 5)

Die Ergebnisse zum präoperativen Messzeitpunkt unterscheiden sich in keinem der überprüften Merkmale signifikant ( $p > 0,05$ ). Betrachten wir den postoperativen Messzeitpunkt, so fällt auf, dass sich die beiden Stichproben „jünger als 60 Jahre“ und „60 Jahre und älter“ auf dem festgelegten Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  signifikant unterscheiden. Die jüngere Altersgruppe zeigt mit 14 pathologischen Ergebnissen in der Kalorik einen signifikanten Unterschied zur älteren mit nur 3 pathologischen Ergebnissen.

Anhand einer Vierfeldertafel (Tabelle 17) sind die Häufigkeiten der insgesamt vier möglichen Kombinationen „normaler“ und „pathologischer“ Ergebnisse in der kalorischen Funktionsdiagnostik zum prä- und postoperativen Zeitpunkt dargestellt. Es fanden hierbei nur Datensätze Verwendung, die vollständig für beide Messzeitpunkte vorlagen.

Präoperativ	Postoperativ		Gesamt
	Pathologisch	Normal	
Pathologisch	10	1	11
Normal	5	23	28
Gesamt	15	24	39

**Tabelle 17:** Häufigkeiten der normalen und pathologischen Ergebnisse in der thermischen Funktionsdiagnostik zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt

Der Großteil der Patienten, 23 von insgesamt 39 (59 %), zeigte sowohl prä- als auch postoperativ eine normale Funktion der Bogengänge. Bei 5 Patienten (12,8 %) wurde eine Funktionsverschlechterung und bei einem Patienten eine Funktionsverbesserung gemessen. 10 Patienten (25,6 %) zeigten bereits präoperativ pathologische Werte, die postoperativ unverändert blieben. Bei der Analyse der Daten auf Unterschiede zwischen der prä- und postoperativen Stichprobe ergab sich kein signifikanter Unterschied (McNemar-Test  $p = 0,219$ ). Die Funktion der Bogengänge unterscheidet sich demnach vor und nach Cochlea-Implantation nicht signifikant.

Bei der Überprüfung der prä- und postoperativen Stichprobe in Bezug auf die in Tabelle 18 genannten Merkmale wurden die folgenden Häufigkeiten und Signifikanzen ermittelt:

		Präoperativ		Postoperativ		p-Wert
		Norm.	Pathol.	Norm.	Pathol.	
OP-Seite	Links	14	5	13	6	1,000
	Rechts	14	6	11	9	0,250
CI-Versorgung	Unilateral	21	9	18	12	0,375
	Bilateral	7	2	6	3	1,000
Geschlecht	Männlich	16	5	13	8	0,375
	Weiblich	12	6	11	7	1,000
Altersgruppe	< 60 Jahre	16	9	13	12	0,375
	≥ 60 Jahre	12	2	11	3	1,000
< 60 Jahre Geschlecht	Männlich	10	4	7	7	0,375
	Weiblich	6	5	6	5	1,000
≥ 60 Jahre Geschlecht	Männlich	6	1	6	1	1,000
	Weiblich	6	1	5	2	1,000

**Tabelle 18:** Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der Funktionsdiagnostik des horizontalen Bogenganges in Bezug auf die unterschiedlichen Merkmale (erste Tabellenspalte). Berechnung signifikanter Unterschiede p zwischen den beiden Stichproben (prä- und postoperativ) mittels McNemar-Test

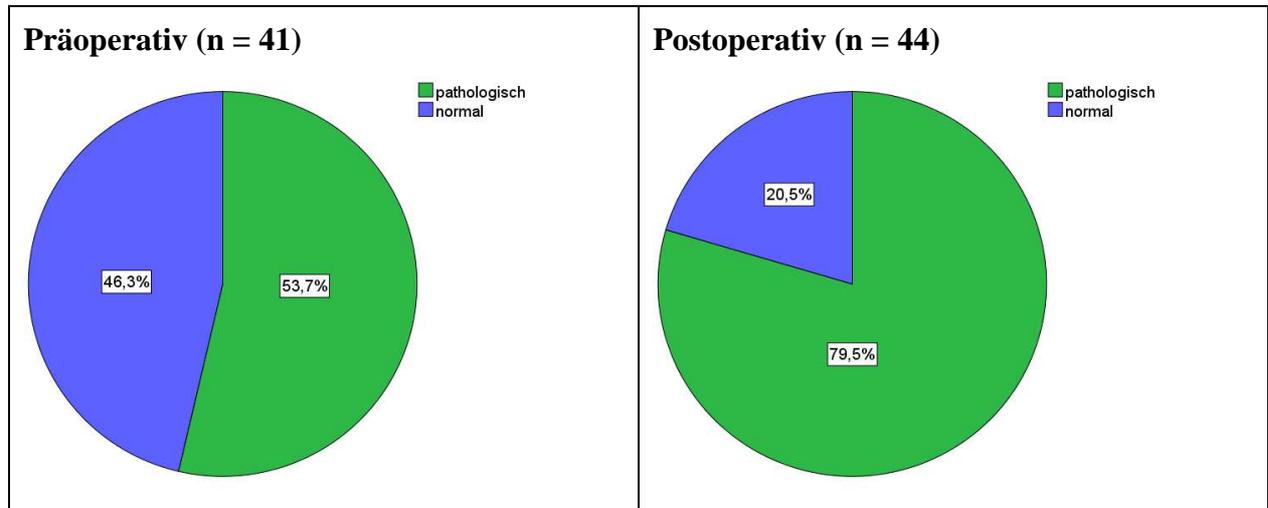
Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass sich die beiden Stichproben (prä- und postoperativ) in Bezug auf die unterschiedlichen getesteten Merkmale nicht signifikant unterscheiden ( $p > 0,05$ ).

### 3.2 Otolithendiagnostik

#### a) Sacculus

Von den insgesamt 52 in diese Studie eingeschlossenen Ohren konnten zum präoperativen Messzeitpunkt die Ergebnisse aus 41 Sacculus-Funktionsprüfungen ausgewertet werden, bei zwei Patienten fehlte das zugehörige postoperative Ergebnis. 44 cVEMP-Untersuchungen wurden der postoperativen Auswertung zugeführt, wobei fünf Patienten keinen zugehörigen präoperativen Wert aufwiesen. Insgesamt konnten somit 39 Datensätze erhoben werden, die jeweils für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt vollständig waren.

Anhand der Ergebnisse der cVEMP-Diagnostik wurde die Frequenz sacculärer Funktionsstörungen für den prä- und postoperativen Zeitpunkt ermittelt (Abbildung 29).



**Abbildung 29:** Prozentualer Anteil normaler und pathologischer cervikaler vestibulär evozierter myogener Potenziale bei der Sacculus-Funktionsprüfung, prä- und postoperativ

Bereits präoperativ waren die cervikalen vestibulär evozierten myogenen Potenziale häufiger nicht auslösbar als auslösbar. Präoperativ bestand eine Pathologie in 53,7 % der Fälle, die postoperativ um 25,8 Prozentpunkte ansteigt.

Die prä- und postoperativen Stichproben wurden unabhängig voneinander auf signifikante Unterschiede hinsichtlich verschiedener Merkmalsausprägungen getestet. Tabelle 19 zeigt hierzu die absoluten Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der Sacculus-Funktionsdiagnostik sowie die mittels Chi-Quadrat- und Fisher-Test ermittelten p-Werte.

		Präoperativ			Postoperativ		
		Norm.	Pathol.	p-Wert	Norm.	Pathol.	p-Wert
OP-Seite	Links	9	11	0,867	3	16	0,710*
	Rechts	10	11		6	19	
CI-Versorgung	Unilateral	17	16	0,249*	8	28	1,000*
	Bilateral	2	6		1	7	
Geschlecht	Männlich	8	12	0,427	5	19	1,000*
	Weiblich	11	10		4	16	
Altersgruppe	< 60 Jahre	13	11	0,233	8	18	0,060*
	≥ 60 Jahre	6	11		1	17	

< 60 Jahre Geschlecht	Männlich	6	6	0,682	5	10	1,000*
	Weiblich	7	5		3	8	
≥ 60 Jahre Geschlecht	Männlich	2	6	0,620*	0	9	1,000*
	Weiblich	4	5		1	8	

**Tabelle 19:** Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der Sacculus-Funktionsdiagnostik in Bezug auf die unterschiedlichen Merkmale (erste Tabellenspalte). Signifikante Unterschiede p in Bezug auf die Merkmale, getrennt für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt, berechnet anhand des Chi<sup>2</sup>-Tests (\* Verwendung des Fisher-Tests bei erwarteten Häufigkeiten < 5)

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass weder die prä- noch die postoperative Stichprobe sich signifikant hinsichtlich der Merkmale „operierte Seite“, „CI-Versorgung“, „Geschlecht“ und „Altersgruppe“ unterscheiden ( $p > 0,05$ ).

Betrachten wir lediglich die Ergebnisse, die sowohl für den prä- als auch für den postoperativen Messzeitpunkt vorliegen, können vier Gruppen unterschieden werden. Die absoluten Häufigkeiten der Ergebniskombinationen stellt die Vierfeldertafel in Tabelle 20 dar. Die Kombination pathologischer Ergebnisse präoperativ und normaler Ergebnisse postoperativ entfällt, da diese Gruppe messfehlerbedingt ausgeschlossen wurde (Methoden 2.2.2 Cervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale).

Präoperative cVEMPs	Postoperative cVEMPs		Gesamt
	Pathologisch	Normal	
Pathologisch	22	0	22
Normal	8	9	17
Gesamt	30	9	39

**Tabelle 20:** Absolute Häufigkeit normaler und pathologischer cervikaler vestibulär evozierter myogener Potenziale (cVEMPs) zum prä- und postoperativen Zeitpunkt

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass sich die Auslösbarkeit und Reproduzierbarkeit der cVEMPs bei insgesamt 31 Patienten (79,5 %) vor und nach Cochlea-Implantation nicht veränderte. 8 Patienten (20,5 %) zeigten hingegen postoperativ eine Funktionsverschlechterung.

Anhand des McNemar-Tests wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,008$  ermittelt, die beiden Stichproben unterscheiden sich demnach signifikant voneinander. Dies bedeutet, dass es nach Cochlea-Implantation signifikant häufiger zu Funktionsbeeinträchtigungen auf Ebene des Sacculus kommt als präoperativ.

Die prä- und postoperative Stichprobe wurden zudem auf signifikante Unterschiede in Bezug auf verschiedene Merkmalsausprägungen überprüft. Tabelle 21 macht hierzu Angaben anhand des p-Wertes und der absoluten Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der Sacculus-Funktionsdiagnostik.

		Präoperativ		Postoperativ		p-Wert
		Norm.	Pathol.	Norm.	Pathol.	
OP-Seite	Links	7	11	3	15	0,125
	Rechts	10	11	6	15	0,125
CI-Versorgung	Unilateral	15	16	8	23	<b>0,016</b>
	Bilateral	2	6	1	7	1,000
Geschlecht	Männlich	8	12	5	15	0,250
	Weiblich	9	10	4	15	0,063
Altersgruppe	< 60 Jahre	11	11	8	14	0,250
	≥ 60 Jahre	6	11	1	16	0,063
< 60 Jahre Geschlecht	Männlich	6	6	5	7	1,000
	Weiblich	5	5	3	7	0,500
≥ 60 Jahre Geschlecht	Männlich	2	6	0	8	0,500
	Weiblich	4	5	1	8	0,250

**Tabelle 21:** Vergleich der prä- und postoperativen Stichprobe auf signifikante Unterschiede der Sacculus-Funktion in Bezug auf die verschiedenen Merkmale (erste Tabellenspalte). Angegeben sind die Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der cVEMPs sowie der p-Wert berechnet mittels McNemar-Test

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass einzig bei der Merkmalsausprägung „unilaterale CI-Versorgung“ ein signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativer Stichprobe besteht ( $p < 0,05$ ). Patienten mit einer einseitigen Cochlea-Implantat-Versorgung zeigten demnach postoperativ signifikant häufiger Sacculus-Dysfunktionen. Für bilateral versorgte Patienten sowie die anderen getesteten Merkmalsausprägungen wurde kein signifikanter Unterschied der beiden Stichproben gefunden ( $p > 0,05$ ).

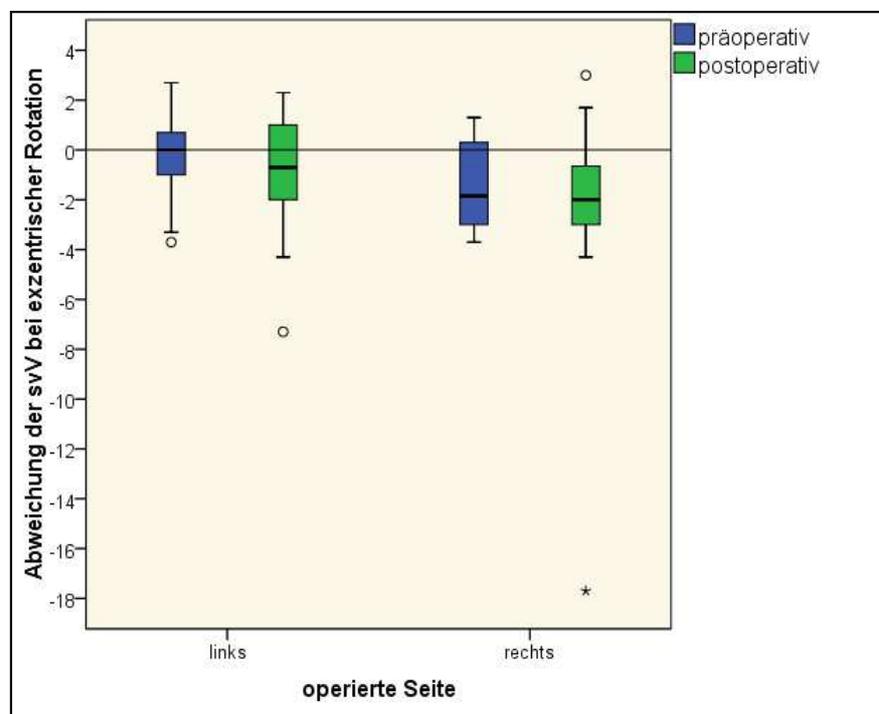
### b) Utriculus

Hinsichtlich der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation konnten 20 Ergebnisse für den präoperativen sowie 44 Ergebnisse für den postoperativen Messzeitpunkt ausgewertet werden. Dabei lagen insgesamt 18 vollständige Datenpaare vor. Ergänzt wurde der Datensatz

durch Ergebnisse der subjektiven haptischen Vertikale. Hierbei konnten für den präoperativen Zeitpunkt drei Ergebnisse ausgewertet werden, postoperativ acht. Durch die im Methodenteil beschriebenen Ergänzungen (Methoden 2.2.3 Subjektive visuelle Vertikale bei exzentrischer Rotation) kamen insgesamt 52 vollständige Datenpaare für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt zur Auswertung.

Das Ausmaß der Abweichungen der svV bei exzentrischer Rotation bestimmt, in Abhängigkeit von der getesteten Seite, ob es sich um eine normale oder pathologische Utriculus-Funktion handelt. Die Daten zu Abweichungen der svV werden dementsprechend für die linke und rechte Seite getrennt dargestellt.

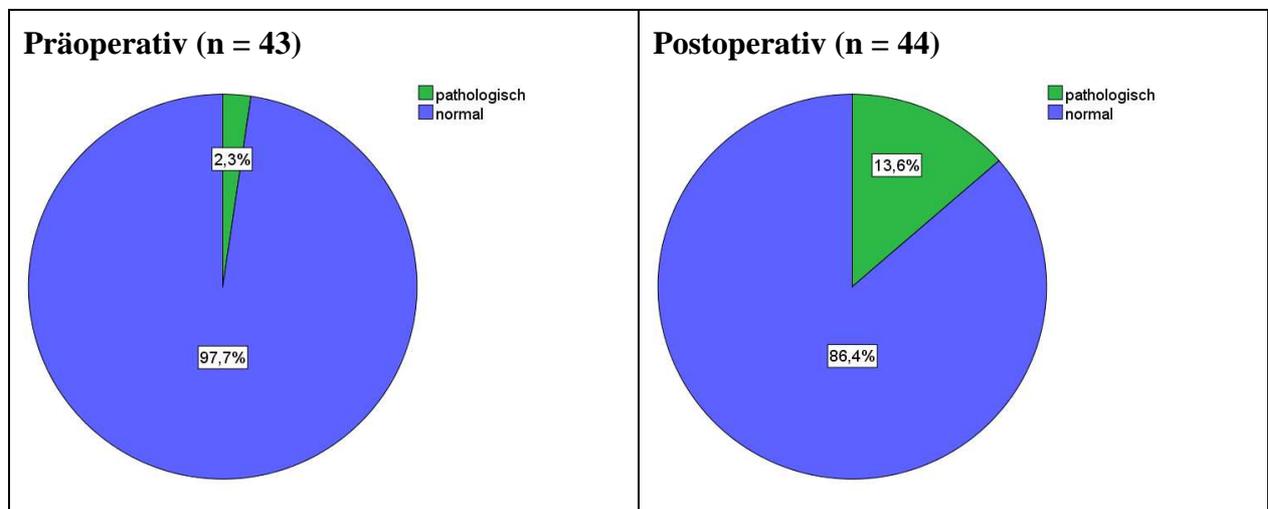
Die linke Seite zeigte präoperativ bei  $n = 10$  Vestibularorganen eine mittlere Abweichung der svV bei exzentrischer Rotation von  $-0,4^\circ \pm 2,0$  (Median  $0^\circ$ ), postoperativ bei  $n = 21$  lag diese bei  $-0,9^\circ \pm 2,3$  (Median  $-0,7^\circ$ ). Bei der Messung der rechten Seite fand sich präoperativ bei  $n = 10$  Vestibularorganen eine mittlere Abweichung von  $-1,4^\circ \pm 1,9$  (Median  $-1,9^\circ$ ). Postoperativ erhöhte sich diese Abweichung bei  $n = 23$  auf  $-2,4^\circ \pm 3,8$  (Median  $-2,0^\circ$ ). Abbildung 30 gibt in Form eines Boxplot-Diagrammes einen Überblick über die Verteilung der prä- und postoperativen Daten der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation getrennt für das linke und rechte Vestibularorgan.



**Abbildung 30:** Verteilung der Abweichungen der svV bei exzentrischer Rotation für die „rechte“ und „linke“ implantierte Seite sowie getrennt für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt ( $^\circ$  Ausreißer, \* Extremwerte)

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass auf der linken Seite die Abweichungen für beide Messzeitpunkte um den Wert null verteilt sind. Der Median liegt dabei postoperativ etwas niedriger ( $0,7^\circ$ ) als präoperativ. Auf der rechten Seite sind die Abweichungen der svV für beide Messzeitpunkte größer und zeigen eine Tendenz zum negativen Abweichungsbereich. Die Werte liegen weiter entfernt vom Nullpunkt. Der Median für die prä- und postoperativen Daten findet sich etwa auf gleicher Höhe (Unterschied  $0,1^\circ$ ). Die Spannweiten sind für die postoperativen Daten beider Seiten durch Ausreißer und einen Extremwert jeweils sehr viel größer als zum präoperativen Zeitpunkt.

Nach Einordnung der Abweichungen der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation in „normale“ und „pathologische“ Ergebnisse der Utriculus-Funktion erhalten wir die folgenden Anteile zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt (Abbildung 31).



**Abbildung 31:** Prozentuale Anteile pathologischer und normaler Ergebnisse der svV bei exzentrischer Rotation, prä- und postoperativ

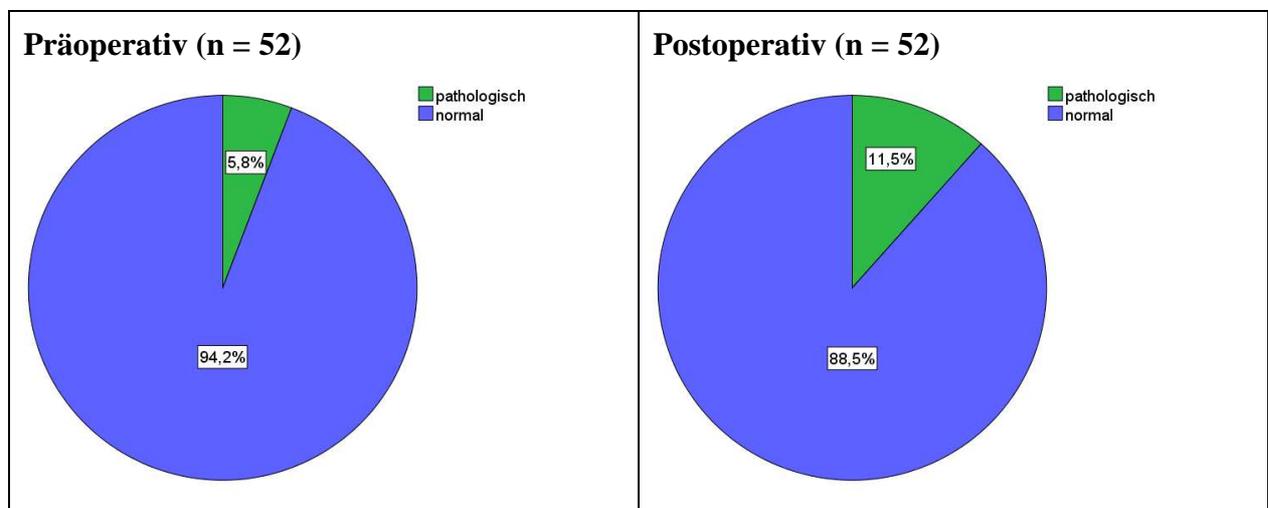
Den beiden Kreisdiagrammen ist zu entnehmen, dass der prozentuale Anteil pathologischer Utriculus-Funktionen nach Cochlea-Implantation um 11,3 Prozentpunkte angestiegen ist: Nach präoperativ einem Patienten mit Utriculus-Funktionsstörung gibt es postoperativ sechs Patienten mit einer solchen Dysfunktion.

Tabelle 22 gibt einen Überblick über die Zahl pathologischer und normaler Ergebnisse der subjektiven haptischen Vertikale zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt.

	Präoperativ (%)	Postoperativ (%)
Normal	7 (77,8)	8 (100)
Pathologisch	2 (22,2)	0 (0)
Gesamt	9 (100)	8 (100)

**Tabelle 22:** Absolute Häufigkeiten und prozentuale Anteile der pathologischen und normalen Utriculus-Funktion bei der shV, prä- und postoperativ

Beim Zusammenfügen der beiden Datensätze (svV bei exzentrischer Rotation und shV) erhalten wir folgende Anteile pathologischer und normaler Utriculus-Funktionen zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt (Abbildung 32).



**Abbildung 32:** Prozentuale Anteile pathologischer und normaler Utriculus-Funktionen, prä- und postoperativ (zusammengefasster Datensatz: svV bei exzentrischer Rotation + shV)

Auch hier ist ein postoperativer Anstieg der pathologischen Utriculus-Funktion um 5,7 Prozentpunkte zu erkennen. Wiesen zum Zeitpunkt vor Cochlea-Implantation nur drei Patienten eine Utriculus-Dysfunktion auf, so fanden sich postoperativ bereits sechs Patienten.

Unabhängig voneinander wurden die prä- und die postoperative Stichprobe auf signifikante Unterschiede hinsichtlich verschiedener Merkmale überprüft. Tabelle 23 gibt die absoluten Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse sowie die Signifikanz der Unterschiede an.

		Präoperativ			Postoperativ		
		Norm.	Pathol.	p-Wert	Norm.	Pathol.	p-Wert
OP-Seite	Links	22	2	0,590*	22	2	0,674*
	Rechts	27	1		24	4	
CI-Versorgung	Unilateral	40	3	1,000*	37	6	0,574*
	Bilateral	9	0		9	0	
Geschlecht	Männlich	24	3	0,236*	24	3	1,000*
	Weiblich	25	0		22	3	
Altersgruppe	< 60 Jahre	32	2	1,000*	30	4	1,000*
	≥ 60 Jahre	17	1		16	2	
< 60 Jahre Geschlecht	Männlich	16	2	0,487*	16	2	1,000*
	Weiblich	16	0		14	2	
≥ 60 Jahre Geschlecht	Männlich	8	1	1,000*	8	1	1,000*
	Weiblich	9	0		8	1	

**Tabelle 23:** Häufigkeiten normaler und pathologischer Ergebnisse der Utriculus-Funktionsdiagnostik in Bezug auf die unterschiedlichen Merkmale (erste Tabellenspalte). Signifikante Unterschiede p in Bezug auf die Merkmale, getrennt für den prä- und postoperativen Messzeitpunkt (berechnet anhand des Fisher-Tests bei erwarteten Häufigkeiten < 5).

Die Berechnungen anhand des exakten Fisher-Tests ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Merkmalsausprägungen, weder in der prä- noch in der postoperativen Stichprobe ( $p > 0,05$ ).

Von den 18 vollständigen Datenpaaren der Abweichungen der svV bei exzentrischer Rotation gehörten 8 zu Cochlea-Implantaten der linken und 10 zu Implantaten der rechten Seite. Anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden die Datensätze getrennt für beide Seiten sowie für beide Messzeitpunkte auf Normalverteilung überprüft. Bei  $p > 0,05$  waren die Daten aller Gruppen normalverteilt. Auf der linken Seite betrug die mittlere Abweichung der svV präoperativ  $-0,5^\circ \pm 2,2$ . Obgleich sich dieser Mittelwert postoperativ auf  $-0,8^\circ \pm 1,7$  veränderte, zeigte sich mittels T-Test für verbundene Stichproben kein signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativer Messung ( $p > 0,05$ ). Auf der rechten Seite fand sich präoperativ eine mittlere Abweichung der svV von  $-1,4^\circ \pm 1,9$ . Auch hier erhöhte sich die postoperative mittlere Abweichung auf  $-2,1^\circ \pm 1,5$ . Der T-Test für verbundene Stichproben konnte indes ebenfalls keinen signifikanten Unterschied aufdecken ( $p > 0,05$ ).

Beim Vergleich der prä- und postoperativen Stichprobe hinsichtlich der svV bei exzentrischer Rotation anhand der dichotomen Merkmale „normal“ und „pathologisch“ wurden zunächst die Häufigkeiten der Ergebniskombinationen ermittelt und in Tabelle 24 dargestellt.

Präoperativ	Postoperativ		Gesamt
	Pathologisch	Normal	
Pathologisch	1	0	1
Normal	2	38	40
Gesamt	3	38	41

**Tabelle 24:** Absolute Häufigkeiten pathologischer und normaler Ergebnisse der svV bei exzentrischer Rotation, prä- und postoperativ

Bei 38 von insgesamt 41 Patienten (92,7 %) zeigte sich sowohl prä- als auch postoperativ eine normale Utriculus-Funktion. Bei einer Person war die Utriculus-Funktion bereits vor Cochlea-Implantation gestört und änderte sich nicht. Zwei Patienten (4,9 %) zeigten hingegen postoperativ eine neu aufgetretene Funktionsstörung des Utriculus.

Die Berechnung mittels des McNemar-Tests für verbundene Stichproben ergab eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,5$ . Eine signifikante Utriculus-Funktionsstörung nach Cochlea-Implantation wurde demnach auf Basis der svV bei exzentrischer Rotation nicht nachgewiesen.

Bei Ergänzung der Tabelle 24 um die Daten der shV erhalten wir die folgenden Häufigkeiten der einzelnen Ergebniskombinationen (Tabelle 25).

Präoperativ	Postoperativ		Gesamt
	Pathologisch	Normal	
Pathologisch	3	0	3
Normal	3	46	49
Gesamt	6	46	52

**Tabelle 25:** Absolute Häufigkeiten pathologischer und normaler Ergebnisse der svV bei exzentrischer Rotation und shV, prä- und postoperativ

Bei einem Großteil der untersuchten Ohren (49 von 52 – 94,2 %) änderte sich die Utriculus-Funktion nach Cochlea-Implantation nicht. Bei 3 Ohren (5,8 %) kam es postoperativ zu einer entsprechenden Störung.

Bei der Berechnung des McNemar-Tests für verbundene Stichproben erhält man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,25$ . Ein signifikanter Unterschied von Utriculus-Funktionsstörungen vor und nach Cochlea-Implantation konnte somit auch in diesem Datensatz nicht nachgewiesen werden.

Im Folgenden werden die prä- und postoperativen Ergebnisse der Utriculus-Funktionsdiagnostik auf signifikante Unterschiede hinsichtlich der Merkmale „operierte Seite“, „CI-Versorgung“, „Geschlecht“ und „Altersgruppe“ untersucht.

Operierte Seite:

	Präoperativ		Postoperativ		p-Wert
	Normal	Pathologisch	Normal	Pathologisch	
Links (n = 24)	22	2	22	2	1,000
Rechts (n = 28)	27	1	24	4	0,250

**Tabelle 26:** Absolute Häufigkeiten pathologischer und normaler Utriculus-Funktionen zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt für das Merkmal „operierte Seite“ sowie der mittels McNemar-Test ermittelte p-Wert

Es zeigt sich, dass die Zahl pathologischer Ergebnisse bei Implantation der linken Seite postoperativ nicht verändert ist ( $p = 1,000$ ). Bei Implantation der rechten Seite finden sich zwar im Vergleich zum präoperativen Messzeitpunkt drei weitere Patienten mit einer Utriculus-Funktionsstörung. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

CI-Versorgung:

	Präoperativ		Postoperativ		p-Wert
	Normal	Pathologisch	Normal	Pathologisch	
Unilateral (n = 43)	40	3	37	6	0,250
Bilateral (n = 9)	9	0	9	0	1,000

**Tabelle 27:** Absolute Häufigkeiten pathologischer und normaler Utriculus-Funktionen zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt für das Merkmal „CI-Versorgung“ sowie der mittels McNemar-Test ermittelte p-Wert

Obleich die Utriculus-Dysfunktion bei einseitiger Cochlea-Implantat-Versorgung postoperativ ansteigt, erhalten wir keinen signifikanten Unterschied zwischen der prä- und postoperativen

Stichprobe. Im Rahmen der bilateral versorgten Patienten zeigte sich keine Veränderung der Utriculus-Funktion zwischen beiden Zeitpunkten.

Geschlecht:

	Präoperativ		Postoperativ		p-Wert
	Normal	Pathologisch	Normal	Pathologisch	
Männlich (n = 27)	24	3	24	3	1,000
Weiblich (n = 25)	25	0	22	3	0,250

**Tabelle 28:** Absolute Häufigkeiten pathologischer und normaler Utriculus-Funktionen zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt für das Merkmal „Geschlecht“ sowie der mittels McNemar-Test ermittelte p-Wert

Es fand sich bei der männlichen Population kein Unterschied der Utriculus-Funktion zwischen dem prä- und postoperativen Messzeitpunkt ( $p = 1,000$ ). Die weibliche Population zeigte hingegen postoperativ drei Funktionsausfälle des Utriculus, präoperativ keinen. Dennoch ergibt sich kein signifikanter Unterschied dieser beiden Stichproben ( $p > 0,05$ ).

Altersgruppe:

	Präoperativ		Postoperativ		p-Wert
	Normal	Pathologisch	Normal	Pathologisch	
Jünger als 60 Jahre (n = 34)	32	2	30	4	0,500
60 Jahre und älter (n = 18)	17	1	16	2	1,000

**Tabelle 29:** Absolute Häufigkeiten pathologischer und normaler Utriculus-Funktionen zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt für das Merkmal „Altersgruppe“ sowie der mittels McNemar-Test ermittelte p-Wert

Die beiden Stichproben (prä- und postoperativ) unterscheiden sich weder für die jüngere noch für die ältere Altersgruppe signifikant ( $p > 0,05$ ).

### Altersgruppe und Geschlecht:

		Präoperativ		Postoperativ		p-Wert
		Normal	Pathol.	Normal	Pathol.	
Jünger als 60 Jahre	Männlich (n = 18)	16	2	16	2	1,000
	Weiblich (n = 16)	16	0	14	2	0,500
60 Jahre und älter	Männlich (n = 9)	8	1	8	1	1,000
	Weiblich (n = 9)	9	0	8	1	1,000

**Tabelle 30:** Absolute Häufigkeiten pathologischer und normaler Utriculus-Funktionen zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt für das Merkmal „Geschlecht“ getrennt für beide Altersgruppen sowie der mittels McNemar-Test ermittelte p-Wert

Weder für die jüngere noch für die ältere männliche Population änderte sich die Utriculus-Funktion über die beiden Messzeitpunkte hinweg ( $p = 1,000$ ). Präoperativ zeigt sowohl die jüngere als auch die ältere weibliche Population keinen Funktionsausfall des Utriculus, postoperativ gab es bei den jüngeren Frauen zwei Ausfälle, bei den älteren Frauen einen, wobei sich hier die beiden Populationsgrößen unterscheiden. Im McNemar-Test offenbarte sich erneut kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten ( $p > 0,05$ ).

## 4 Korrelation der Einzelbefunde

### 4.1 Analyse von Schädigungsmustern

Tabelle 31 beinhaltet eine Übersicht aller in der Studie eingeschlossenen und untersuchten Ohren mit Cochlea-Implantat zuzüglich ihrer durchgeführten vestibulären Funktionsdiagnostik mit normalen oder pathologischen Ergebnissen.

CI-Nr.	DHI-Gesamtscore		Kalorik		cVEMPs		Exzentrische Rotation	
	Prä-OP	Post-OP	Prä-OP	Post-OP	Prä-OP	Post-OP	Prä-OP	Post-OP
1	n	n	n	n	ja	ja	n	n
2	n	n	n	n	n	n	n	n
3	n	n	n	n	n	n	n	n
4	n	n	n	n	n	p	n	n
5	n	n	n	n	p	p	n	n
6	n	n	p	p	n	n	n	n
7	n	n	n	n	p	p	n	n
8	n	n	p	p	p	p	n	n
9	p	p	n	n	p	p	n	n
10	n	n	n	n	n	p	n	p
11	n	n	n	p	n	n	n	n
12	p	p	p	p	p	p	n	n

13	n	n	n	n	p	p	n	n
14	p	n	p	p	n	n	n	n
15	n	n	p	p	-	-	n	p
16	n	-	n	n	n	n	p	p
17	n	n	n	p	-	-	n	n
18	n	n	n	p	n	p	n	n
19	-	-	n	n	p	p	n	n
20	p	p	p	p	p	p	n	p
21	n	n	n	n	n	p	n	n
22	n	n	n	n	p	p	p	p
23	n	n	-	p	-	-	n	n
24	-	-	n	-	n	n	p	p
25	n	n	n	n	p	p	n	n
26	n	n	n	n	p	p	n	n
27	n	n	n	n	n	n	n	n
28	n	n	n	n	p	p	n	n
29	n	n	p	n	p	p	n	n
30	n	n	n	n	p	p	n	n
31	p	p	n	n	n	p	n	n
32	n	n	p	p	n	p	n	n
33	p	p	n	n	n	p	n	n
34	n	n	n	n	p	p	n	n
35	n	n	n	p	p	p	n	n
36	-	-	p	p	p	p	n	n
37	-	-	p	p	-	-	n	n
38	-	-	n	n	n	n	n	n
39	-	-	p	p	p	p	n	n
40	n	n	n	n	-	p	n	n
41	n	n	n	-	n	-	n	n
42	n	n	n	-	-	-	n	n
43	n	n	n	-	p	p	n	n
44	p	n	n	p	-	p	n	n
45	p	-	-	n	p	p	n	n
46	-	-	n	-	n	-	n	n
47	-	-	-	n	-	-	n	n
48	n	n	-	n	-	p	n	n
49	p	p	-	p	-	p	n	n
50	p	-	-	-	n	p	n	n
51	-	-	-	n	p	p	n	n
52	-	-	-	-	-	p	n	n

**Tabelle 31:** Übersicht über alle Cochlea-Implantate der Studie mit zugehöriger Funktionsdiagnostik (n = normal, p = pathologisch, - = fehlende Daten)

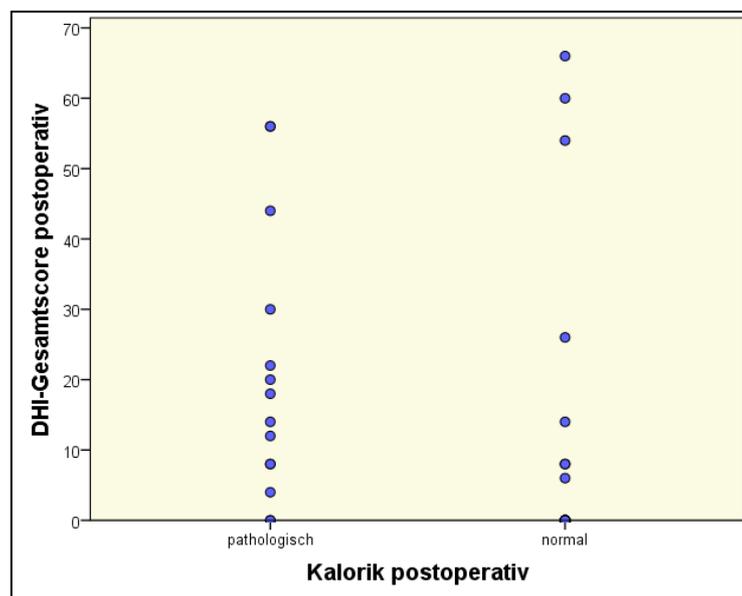
Bei der Analyse der Datenübersicht fällt auf, dass postoperativ pathologische DHI-Scores (> 36 Punkte) stets mit pathologischen cVEMPs einhergehen, d. h., dass bei Vorhandensein von sub-

jektivem Schwindel immer auch eine Sacculus-Funktionsstörung besteht. Außerdem zeigt sich, dass bei normaler Sacculus-Funktion (cVEMPs) Patienten postoperativ keine subjektiven Schwindelbeschwerden angeben (DHI-Score < 36 Punkte). Umgekehrt kann jedoch bei Vorhandensein einer Sacculus-Dysfunktion der DHI-Score trotzdem normwertig sein.

## 4.2 Subjektiver Schwindel und Schädigung der vestibulären Rezeptoren

### a) DHI und Kalorik

Das Streudiagramm in Abbildung 33 stellt grafisch den Zusammenhang zwischen postoperativ erhobenem subjektivem Schwindel und postoperativen Ergebnissen der kalorischen Funktionsprüfung der horizontalen Bogengänge dar.



**Abbildung 33:** Zusammenhang zwischen postoperativen Ergebnissen des DHI-Gesamtscores und postoperativen Ergebnissen der kalorischen Funktionstestung

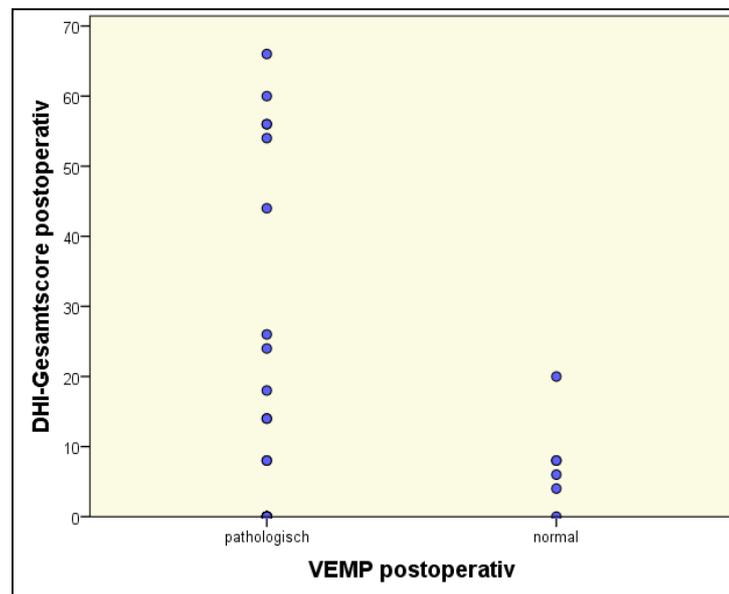
Aus der Grafik ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem DHI-Gesamtscore und den Ergebnissen der Kalorik zu erkennen. Die statistische Überprüfung dieses Zusammenhangs mit Hilfe des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ergab eine geringe negative Korrelation von  $r = -0,417$ , wobei dieser Zusammenhang mit  $p = 0,011$  signifikant war. Er sagt aus, dass, je höher der postoperative DHI-Score und somit der subjektive Schwindel ist, desto wahrscheinlicher die Funktion des horizontalen Bogengangs postoperativ pathologisch ist. Er besteht nicht zwischen präoperativem subjektivem Schwindel und präoperativen Bogengangsfunktionen ( $r = -0,111$ ,  $p = 0,512$ ).

Bei Filterung des signifikanten Ergebnisses anhand partieller Korrelationen mit unterschiedlichen Merkmalen zeigte sich, dass es sich bei „Geschlecht“, „operierte Seite“ und „CI-

Versorgung“ um Störvariablen handeln könnte, da ein signifikanter Zusammenhang zwischen postoperativen DHI-Werten und postoperativer Kalorik bei Filterung dieser Variablen nicht mehr bestand ( $p > 0,05$ ). Das Alter bei Operation zeigte hingegen keinen Einfluss auf diesen Zusammenhang ( $p < 0,05$ ).

### b) DHI und cVEMPs

Ein möglicher Zusammenhang zwischen den postoperativ erreichten Punktwerten des DHI-Gesamtscores und den Ergebnissen der Sacculus-Funktionsdiagnostik wurde untersucht. Abbildung 34 stellt diesen Zusammenhang grafisch dar.

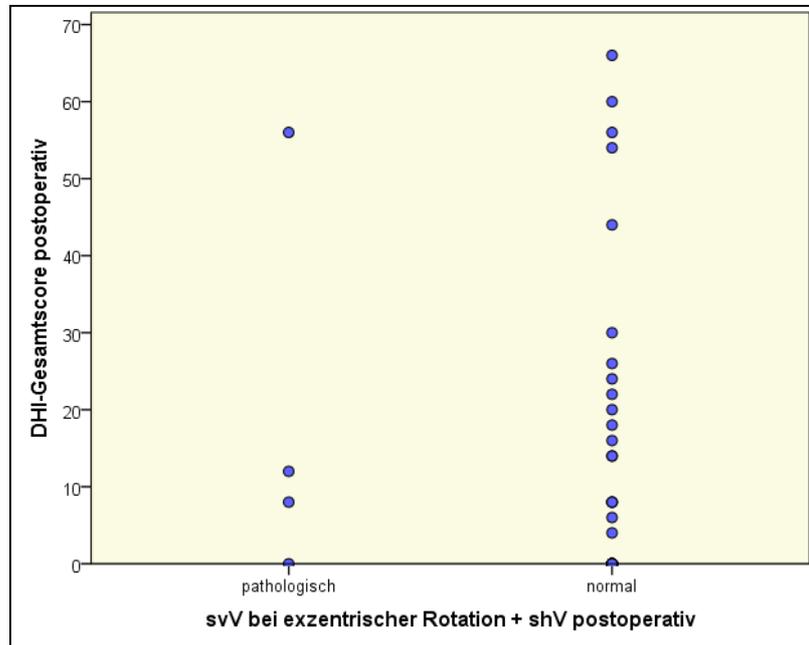


**Abbildung 34:** Zusammenhang zwischen postoperativen Ergebnissen des DHI-Gesamtscores und postoperativen Ergebnissen der cVEMPs

Die Grafik zeigt, dass bei auslösbaren cervikalen vestibulär evozierten myogenen Potenzialen die DHI-Werte niedriger sind. Bei nicht auslösbaren cVEMPs finden sich hingegen sowohl hohe als auch niedrige DHI-Scores. Bei Berechnung des Zusammenhangs mittels des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ergibt sich eine sehr geringe Korrelation von  $r = 0,046$  bei einer Signifikanz von  $p = 0,797$ . Dementsprechend besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen postoperativem subjektivem Schwindel und postoperativer Sacculus-Dysfunktion. Der Zusammenhang zwischen den präoperativen DHI-Werten und den präoperativen cVEMPs ist mit einer geringen Korrelation ( $r = 0,274$ ) zwar geringfügig höher, aber ebenfalls nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ).

### c) DHI und svV bei exzentrischer Rotation + shV

Abbildung 35 stellt anhand eines Streudiagramms den Zusammenhang zwischen postoperativem subjektivem Schwindel und postoperativen Utriculus-Funktionsstörungen grafisch dar.



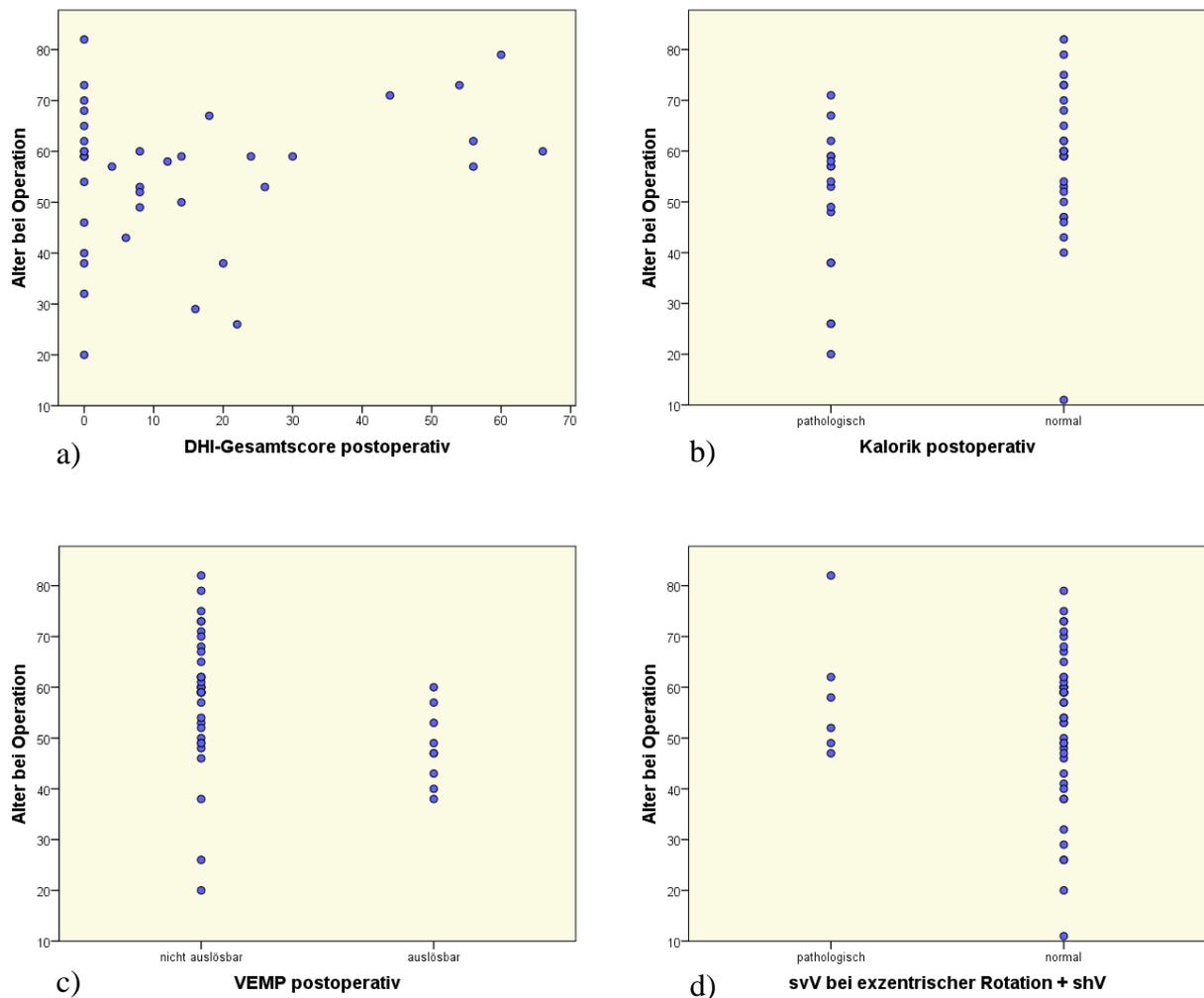
**Abbildung 35:** Zusammenhang zwischen postoperativen Ergebnissen des DHI-Gesamtscores und postoperativen Ergebnissen der subjektiven visuellen Vertikale (svV) bei exzentrischer Rotation und der subjektiven haptischen Vertikale (shV)

Mit Ausnahme eines Datenpunktes zeigten die pathologischen Ergebnisse der Utriculus-Funktionsdiagnostik eher kleinere Werte im DHI-Gesamtscore. Bei normaler Funktion des Utriculus fanden sich DHI-Punktwerte in allen Bereichen. Bei der Berechnung des Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman ergab sich  $r = -0,086$  sowie eine Signifikanz von  $p = 0,601$ . Somit besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen subjektivem Schwindel und objektiven Utriculus-Dysfunktionen nach Cochlea-Implantation. Der Zusammenhang präoperativer DHI-Ergebnisse mit den Resultaten der präoperativen Utriculus-Diagnostik ist mit  $r = 0,081$  gering und ebenfalls nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

### 4.3 Korrelation von Merkmalsausprägungen und vestibulärer Funktionsdiagnostik

#### a) Alter bei Operation

In Abbildung 36 sind vier Streudiagramme abgebildet, die grafisch den Zusammenhang zwischen „Alter bei Operation“ und den Ergebnissen der jeweiligen vestibulären Funktionsdiagnostik (DHI-Gesamtscore, Kalorik, cVEMPs und svV bei exzentrischer Rotation + shV) darstellen.



**Abbildung 36:** Zusammenhänge zwischen a) Alter und DHI-Gesamtscore b) Alter und Kalorik c) Alter und cVEMPs d) Alter und svV bei exzentrischer Rotation mit shV

Im Streudiagramm 36a) zeigt sich, dass ein scheinbarer Zusammenhang zwischen dem Alter bei Operation und dem DHI-Score besteht, da mit steigendem Alter auch die Schwindelbeschwerden zunehmen. Andererseits wurde ein Score von 0 Punkten von allen Altersklassen erzielt. Bei der Kalorik in Abbildung 36b) scheint eine normale Bogengangsfunktion tendenziell mit einem höheren Alter einherzugehen. Bezüglich der Sacculus-Diagnostik in der Grafik 36c) trifft dies eher für die pathologischen cVEMPs zu, die mit einem höheren Alter einhergehen. Im Streudiagramm 36d) zur Utriculus-Diagnostik besteht nur eine geringe Fallzahl pathologischer Ergebnisse, diese scheinen jedoch tendenziell mit einem höheren Alter einherzugehen.

In Tabelle 32 sind die nach Spearman berechneten Koeffizienten und Signifikanzen für die überprüften Zusammenhänge zwischen Alter bei Operation und vestibulären Funktionsstörungen aufgelistet.

Zusammenhang		Korrelationskoeffizient	Signifikanz
Alter bei Operation	DHI-Gesamtscore	0,070	0,673
	Kalorik	0,304	<b>0,042</b>
	cVEMPs	-0,420	<b>0,005</b>
	svV bei exzentr. Rotation + shV	-0,046	0,745

**Tabelle 32:** Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen für die Berechnung von Zusammenhängen zwischen Alter bei Operation und DHI-Gesamtscore bzw. Ergebnissen der vestibulären Funktionsdiagnostik (Kalorik, cVEMPs, svV bei exzentrischer Rotation und shV)

Zwischen Alter und DHI-Score sowie der Utriculus-Funktionsdiagnostik besteht eine sehr geringe Korrelation ( $r < 0,2$ ). Obwohl auch der Zusammenhang von Alter und Kalorik sowie Alter und cVEMPs gering ist ( $r < 0,5$ ), sind die Ergebnisse dennoch bei  $p < 0,05$  als signifikant einzustufen. Der Zusammenhang zwischen dem Alter bei Operation und den kalorischen Ergebnissen ist positiv, demnach haben ältere Patienten häufiger eine normale Bogengangsfunktion nach Cochlea-Implantation, jüngere häufiger eine pathologische. Der Zusammenhang des Alters mit den Ergebnissen der cervikalen vestibulär evozierten myogenen Potenziale ist hingegen negativ, dementsprechend zeigen ältere Patienten häufiger eine pathologische Sacculus-Funktion nach Implantation, jüngere häufiger eine normale.

Im Streudiagramm in Abbildung 36 findet sich zwischen dem Alter bei Operation und dem Score des DHI ein scheinbarer Zusammenhang, der mittels des Rangkorrelationskoeffizienten indes nicht nachgewiesen werden konnte. Bei Ausschluss eines DHI-Gesamtscores von null Punkten, also bei Ausschluss von Patienten, die keinerlei Schwindelbeschwerden nannten, ergab sich eine mäßige Korrelation von  $r = 0,515$ , die mit  $p = 0,014$  signifikant war. Patienten, die nach Cochlea-Implantation Schwindelbeschwerden hatten (DHI-Score  $> 0$ ), zeigten umso höhere Werte im DHI-Gesamtscore, je älter sie bei Operation waren.

## b) Geschlecht

Tabelle 33 macht Angaben über den Zusammenhang von „Geschlecht“ und subjektiven Schwindelbeschwerden bzw. vestibulären Funktionsstörungen nach Cochlea-Implantation durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman sowie der Signifikanz.

Zusammenhang		Korrelationskoeffizient	Signifikanz
Geschlecht	DHI-Gesamtscore	0,064	0,697
	Kalorik	0,051	0,738
	cVEMPs	-0,010	0,947
	svV bei exzentr. Rotation + shV	-0,014	0,922

**Tabelle 33:** Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen für die Berechnung von Zusammenhängen zwischen Geschlecht und DHI-Gesamtscore bzw. Ergebnissen der vestibulären Funktionsdiagnostik (Kalorik, cVEMPs, svV bei exzentrischer Rotation und shV)

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass es sich bei den Zusammenhängen zwischen Geschlecht und Schwindel sowie vestibulären Funktionsstörungen durchweg um sehr geringe Korrelationen handelt ( $r < 0,2$ ). Ein signifikanter Zusammenhang konnte nicht gefunden werden.

### c) Operierte Seite

Tabelle 34 liefert Angaben über den Zusammenhang des Merkmals „operierte Seite“ mit subjektivem Schwindel bzw. vestibulären Beeinträchtigungen durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman sowie der Signifikanz.

Zusammenhang		Korrelationskoeffizient	Signifikanz
Operierte Seite	DHI-Gesamtscore	-0,012	0,942
	Kalorik	-0,086	0,575
	cVEMPs	0,101	0,515
	svV bei exzentr. Rotation + shV	-0,093	0,513

**Tabelle 34:** Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen für die Berechnung von Zusammenhängen zwischen „operierter Seite“ und DHI-Gesamtscore bzw. Ergebnissen der vestibulären Funktionsdiagnostik (Kalorik, cVEMPs, svV bei exzentrischer Rotation und shV)

Die Tabelle zeigt eine sehr geringe Korrelation ( $r < 0,2$ ) zwischen dem Merkmal „operierte Seite“ und Schwindel bzw. Funktionsstörungen auf Ebene der drei vestibulären Rezeptoren. Ein signifikanter Zusammenhang konnte nicht gefunden werden.

#### d) CI-Versorgung

Tabelle 35 sind Angaben über den Zusammenhang zwischen dem Merkmal „CI-Versorgung“ (uni- oder bilateral) und subjektivem Schwindel bzw. vestibulären Beeinträchtigungen durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman sowie der Signifikanz zu entnehmen.

Zusammenhang		Korrelationskoeffizient	Signifikanz
CI-Versorgung	DHI-Gesamtscore	-0,206	0,208
	Kalorik	0,046	0,765
	cVEMPs	-0,093	0,548
	svV bei exzentr. Rotation + shV	0,165	0,242

**Tabelle 35:** Korrelationskoeffizienten und Signifikanz für die Berechnung von Zusammenhängen zwischen Cochlea-Implantat-Versorgung und DHI-Gesamtscore bzw. Ergebnissen der vestibulären Funktionsdiagnostik (Kalorik, cVEMPs, svV bei exzentrischer Rotation und shV)

Zwischen der Cochlea-Implantat-Versorgung und dem DHI-Gesamtscore ergibt sich eine geringe Korrelation mit  $r > 0,2$  sowie eine sehr geringe Korrelation zwischen CI-Versorgung und vestibulären Funktionsbeeinträchtigungen ( $r < 0,2$ ). Da keiner dieser Zusammenhänge signifikant ist ( $p > 0,05$ ), hat die uni- bzw. bilaterale Cochlea-Implantation keinen signifikanten Einfluss auf subjektive oder objektivierbare vestibuläre Dysfunktionen.

## **IV Diskussion**

### **1 Methodische Aspekte**

Im Folgenden werden die angewandten Untersuchungsmethoden diskutiert und sowohl Vor- als auch Nachteile der Methodiken herausgearbeitet.

#### **1.1 Fragebogenuntersuchungen - DHI**

Der 1990 von Jacobsen und Newman entwickelte Fragebogen „Dizziness Handicap Inventory“ (DHI) wird zur Quantifizierung der Beeinträchtigungen durch Schwindel im alltäglichen Leben verwendet. Diese Beeinträchtigungen werden in drei Untergruppen – physische, funktionelle und emotionale – unterteilt. Der Fragebogen zeichnet sich durch eine gute interne Konsistenz und eine sehr gute Retest-Reliabilität aus und gilt somit als zuverlässiges Maß zur Erfassung alltäglicher Beeinträchtigungen durch Schwindel.<sup>38</sup>

Kritisch zu betrachten ist in unserer Studie die Erfassung des DHI retrospektiv zu mehreren Messzeitpunkten. Für einige Patienten ist die retrospektive Beurteilung von Schwindelsymptomen schwierig,<sup>66</sup> aus diesem Grund sollte die Abrufperiode zur Beantwortung von Fragen möglichst kurz gehalten werden.<sup>67-69</sup> Um die Angaben im DHI auf Plausibilität zu prüfen, wurden daher in unserer Studie zusätzlich Antworten auf offene Fragen ausgewertet.

Insgesamt ist der DHI wie erwähnt ein zuverlässiges Messinstrument zur Quantifizierung von Schwindelbeschwerden. Analog zur vorliegenden Arbeit konnte bereits in einigen Studien ein Zusammenhang zwischen subjektivem Schwindel und objektiv gemessenen vestibulären Funktionsbeeinträchtigungen belegt werden.<sup>40,42,43</sup>

#### **1.2 Bogengangsdiagnostik**

Die thermische Vestibularisprüfung zur Objektivierung einseitiger Funktionsstörungen des horizontalen Bogenganges ist ein häufig angewandtes Untersuchungsverfahren. Durch die thermische Erregung des externen Gehörganges mit Hilfe warmen oder kalten Wassers kommt es zu einer Stimulation des horizontalen Bogenganges und zur Auslösung von Nystagmen. Die thermische Funktionstestung gilt allgemein als ein sehr sensitives und auch spezifisches Verfahren zur Erkennung vestibulärer Funktionsstörungen<sup>70</sup> und zeichnet sich durch eine hohe Retest-Reliabilität aus.<sup>71</sup>

Zur Auswertung dienen unterschiedliche Verfahren. Als Goldstandard gilt derzeit die Winkelgeschwindigkeit der langsamen Phase (Amplitude GLP/Dauer GLP).<sup>45</sup> In der vorliegenden Arbeit wurde, wie in der klinischen Routine üblich, die Nystagmusfrequenz ausgezählt sowie in hyper-, hypo-, a- und normoreflexive Antworten unterteilt. Diese Art der Auswertung wird in der aktuel-

len Literatur indes kritisch diskutiert. Auf der einen Seite korreliert sie mit der Empfindung von Schwindel, auf der anderen Seite wird diskutiert, ob sie möglicherweise keine Aussage über die Funktionsfähigkeit des horizontalen Bogenganges erlaubt, da es sich bei der Nystagmusfrequenz um eine zentralnervös gesteuerte Rückstellfunktion handelt.<sup>45</sup> Da jedoch jedwede Form der derzeit verfügbaren Untersuchungen vestibulärer Rezeptoren eine Untersuchung einer Reflexschleife mit zentralem Anteil darstellt und hier ein prä-interventioneller Zustand mit einem post-interventionellen Zustand verglichen wird, ist diese Vorgehensweise zulässig und Standard der derzeitigen wissenschaftlichen Verfahrensweise.

### **1.3 Otolithendiagnostik**

Mit Hilfe cervikaler vestibulär evozierter myogener Potenziale (cVEMPs) kann eine seitengetrennte Funktionsprüfung des Sacculus durchgeführt werden. Hierzu wird der Sacculus durch ein akustisches Signal gereizt und die myogene Reizantwort mittels EMG am Musculus sternocleidomastoideus gemessen.

Die akustischen Signale können in unterschiedlichen Formen als „tone-burst“- oder „click-burst“-Reize wiedergegeben werden und sich in Lautstärke und Frequenz unterscheiden. Für die in der vorliegenden Studie verwendeten „tone-burst“-Reize mit einer Frequenz von 500 Hz konnte gezeigt werden, dass hierbei die größten Amplituden der Reizantwort p13 und n23 gemessen werden und eine gute Reliabilität besteht.<sup>72-74</sup> Insgesamt zeigte sich auch eine sehr gute Retest-Reliabilität bei der Bestimmung von cVEMPs, besonders in Bezug auf die Amplitudenauswertung.<sup>75-77</sup> Um physiologische von pathologischen Ergebnissen zu unterscheiden, wurde daher in der vorliegenden Arbeit die Reproduzierbarkeit und nicht die Latenzzeit der cVEMPs gemessen. Auf eine suffiziente muskuläre Vorspannung des M. sternocleidomastoideus als möglicher einschränkender Faktor wurde geachtet.

Für die unilaterale Reizung des Utriculus hat sich die exzentrische Rotation bewährt. Zur Objektivierung der Reizantwort kann die Augentorsion gemessen werden, wobei es sich jedoch um ein aufwendiges apparatives Verfahren handelt. Alternativ kann, wie auch in der vorliegenden Studie, eine Messung mit Hilfe der subjektiven visuellen Vertikale während der exzentrischen Rotation erfolgen. Janky et al. konnten zeigen, dass beide Verfahren gleichwertige Ergebnisse erzielen.<sup>55</sup> Akin et al. konnten zudem eine gute Retest-Reliabilität der svV während der Rotation gesunder Probanden belegen.<sup>78</sup> Zu beachten ist jedoch, dass sowohl bei der svV als auch bei der shV subjektive, propriozeptive und motorische Komponenten die Resultate beeinflussen und somit zu Verzerrungen der Ergebnisse führen können.<sup>45,60</sup>

Insgesamt handelt es sich bei der subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation um ein sehr sensitives Verfahren,<sup>60</sup> dieses gilt aktuell als Goldstandard zur Erfassung von Utriculus-Dysfunktionen. Die derzeit in der wissenschaftlichen Diskussion befindlichen okulären vestibulär evozierten myogenen Potenziale (oVEMPs) sind nicht als Utriculus-spezifisch anzusehen.

Die verwendeten Messmethoden zur Erfassung subjektiven und objektiven Schwindels zeigen die oben genannten Stärken und Schwächen. Insgesamt sollte für eine möglichst genaue Einschätzung der peripheren vestibulären Funktion eine Kombination der verschiedenen Testverfahren an einem Patienten erfolgen.

## **2 Diskussion der klinischen Ergebnisse**

### **2.1 Patientenkollektiv**

Die Struktur der Patientenstichprobe entsprach in etwa der anderer Studien zum Thema vestibulärer Funktionsbeeinträchtigungen nach Cochlea-Implantation.

Bei insgesamt 52 in dieser Studie untersuchten Ohren betrug das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation 53,7 Jahre. Auf Grund des Ausschlusses von Kindern unter 10 Jahren lag die Altersspanne zwischen 11 und 82 Jahren. Bei Studien, die ebenfalls Erwachsenenpopulation nach Cochlea-Implantation untersuchten, fanden sich vergleichbare Altersstrukturen mit einem durchschnittlichen Alter zwischen 52,6 und 56,5 Jahren.<sup>31,47,50,63,65</sup> Andere Studien ermittelten hingegen niedrigere Durchschnittsalter im Bereich von 41,5 bis 47,6 Jahren.<sup>40,42,46</sup> Eine Studie von Enticott et al. mit einer größeren Fallzahl (n = 146) zeigte mit durchschnittlich 60,0 Jahren eine etwas ältere Altersstruktur.

Es ließen sich mit 51,9 % der Patienten mehr Männer als Frauen operieren. Auf Grund des geringen Umfangs des Patientenkollektivs kann man jedoch von einem ausgeglichenen Verhältnis ausgehen. Dies entspricht auch den Untersuchungen von Katsiari et al., bei denen keine Geschlechterpräferenz unter Cochlea-Implantat-Patienten gefunden wurde.<sup>46</sup> In anderweitigen Studien wurden mehr weibliche Patienten operiert, wobei ebenfalls geringe Fallzahlen vorlagen.<sup>41,48,50,63,65</sup>

Es wurden rechtsseitig mit 53,8 % mehr Patienten implantiert als linksseitig mit 46,2 %, auch dieses Verhältnis kann auf Grund der geringen Fallzahl von 52 Ohren als ausgewogen betrachtet werden und entspricht den Ergebnissen vergleichbarer Studien.<sup>42,43,46,50,63</sup> Ein deutlicher Unterschied zwischen rechter und linker zu implantierender Seite fand sich hingegen bei Brey et al. mit einer rechtsseitigen Implantation von 77,3 % und einer linksseitigen von 12,7 % bei n = 22 Patienten.<sup>65</sup> Ein Grund für dieses ungleiche Verhältnis kann der Studie nicht entnommen werden.

Das Durchschnittsalter von uni- und bilateral versorgten Patienten unterschied sich nur geringfügig. So waren einseitig operierte Patienten im Schnitt um 2,3 Jahre jünger als Patienten mit beidseitigem Cochlea-Implantat. Die Altersdifferenz in diesen beiden Patientenpopulationen kann dadurch erklärt werden, dass eine bilaterale Cochlea-Implantat-Versorgung zumeist zweizeitig erfolgt und Patienten somit beim ersten Eingriff jünger sind. Eine Studie von Wagner et al., die ausschließlich bilateral versorgte Patienten untersuchte, zeigte mit einem Durchschnittsalter von 41,5 Jahren eine sehr viel jüngere Patientenpopulation als die bilateral versorgten Patienten dieser Studie mit 55,6 Jahren.<sup>40</sup>

## 2.2 Fragebogenuntersuchungen

Die Frequenz von subjektivem Schwindel gemessen anhand des DHI wurde zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt sowohl für die drei Subskalen als auch für den Gesamtscore ausgewertet. Bei einem Gesamtscore > 36 Punkte wurde von Schwindelbeschwerden ausgegangen. Tabelle 36 fasst hierzu nochmals die wichtigsten Ergebnisse zusammen.

	Präoperativ n = 42	Postoperativ n = 39
P-Skala	11 (26,2 %)	7 (18 %)
F-Skala	10 (23,8 %)	7 (18 %)
E-Skala	9 (21,4 %)	6 (15,4 %)
Gesamtscore	10 (23,8 %)	6 (15,4 %)

**Tabelle 36** Absolute Häufigkeiten und prozentuale Anteile pathologischer Ergebnisse bei der Auswertung der Subskalen und des Gesamtscores des DHI zum prä- und postoperativen Zeitpunkt

In der vorliegend untersuchten Patientenpopulation bestand bereits vor Cochlea-Implantation in 23,8 % der Fälle Schwindel, die durchschnittlich erreichte Punktzahl im DHI lag bei 19,3.

Mit Hilfe des DHI konnten in anderen Studien Prävalenzen von präoperativen Schwindelbeschwerden zwischen 0 und 45,2 % gemessen werden.<sup>31,40,41</sup> Bei den Ergebnissen von Wagner et al. sowie Todt et al., die jeweils mit 30 und 45,2 % häufiger Schwindel fanden, lag der Mittelwert der erreichten Punktzahl im DHI mit 14,9 und 12,5 jedoch trotzdem niedriger als in unserer Studie.<sup>31,40</sup> Dies zeigt, dass in der vorliegenden Studie insgesamt zwar weniger Patienten präoperativ Schwindel angaben, aber bei Bestehen von Schwindelbeschwerden höhere Punktwerte, also eine größere Beeinträchtigung durch Schwindel kundtaten. Der Grund hierfür bleibt unbekannt. Untersuchungen, die mit eigenen Fragebögen zur Messung von Schwindel arbeiteten, fanden eine ähnliche Prävalenz von präoperativem Schwindel wie in der vorliegenden Studie (21–

35 %).<sup>46,48,79</sup> Insgesamt ist den Ergebnissen zu entnehmen, dass bereits vor Cochlea-Implantation Schwindelbeschwerden in diesem Patientengut gehäuft vorkam.

Postoperativ traten in der vorliegenden Studie sowohl psychische, funktionelle als auch emotionale Beeinträchtigungen seltener auf als präoperativ. So bestanden nach Cochlea-Implantation Schwindel- und Gleichgewichtsprobleme nur noch in 15,4 % der Fälle (präoperativ 23,8 %), dementsprechend nahm postoperativ die Beeinträchtigung durch Schwindel um 8,4 Prozentpunkte ab. Allerdings veränderte sich die Stichprobengröße von prä- zu postoperativ, da drei Patienten keine Angaben zum postoperativen Schwindel machten, zwei dieser Patienten zeigten dabei bereits präoperativ einen DHI-Score > 36 Punkte, einer lag mit 20 Punkten darunter. Die durchschnittlich erreichte Punktzahl des DHI lag nach Cochlea-Implantation bei 14,7.

Im Vergleich dazu finden sich in der Literatur postoperativ häufiger höhere DHI-Scores als präoperativ sowie insgesamt eine höhere Prävalenz von Schwindel nach Cochlea-Implantation bei 25–53,2 % der Patienten, wobei nicht immer der DHI verwendet wurde.<sup>31,41,43,48–50,63</sup>

Beim Vergleich der prä- und postoperativen Stichproben auf Ebene der Subskalen und des DHI-Gesamtscores fand sich ein signifikanter Unterschied sowohl für funktionelle Beeinträchtigungen durch Schwindel (F-Skala) als auch für Schwindelbeschwerden im Allgemeinen (Gesamtscore). Insbesondere funktionelle Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen traten bei unserem Patientenkollektiv nach Cochlea-Implantation signifikant seltener auf.

Auf Ebene der individuellen Auswertung der Punktzahl des DHI-Gesamtscores konnte ermittelt werden, dass es in 17,9 % (n = 7) zu einer signifikanten Verbesserung, bei zwei Patienten (5,1 %) hingegen zu einer signifikanten Verschlechterung (Differenz DHI-Score zu beiden Messzeitpunkten > 6 Punkte) der Schwindelsymptomatik nach Implantation kam.

Bei der Darstellung der Frequenzen postoperativen Schwindels konnte bereits gezeigt werden, dass die Prävalenz von Schwindel nach Cochlea-Implantation in anderen Studien deutlich höher ist. Zudem zeigte sich nun beim Vergleich beider Messzeitpunkte, dass auch der Anteil postoperativ neu aufgetretenen Schwindels zumeist höher war. Basta et al. fanden bei 27,8 % ihrer Patienten einen erhöhten postoperativen DHI-Score.<sup>41</sup> Todt et al. zeigten dies in 17,7 %, wobei hier zusätzlich zwischen zwei unterschiedlichen Zugangstechniken bei der Implantation unterschieden wird. Es konnte gezeigt werden, dass der auch von uns verwendete modifizierte Rundfensterzugang postoperativ signifikant weniger Schwindelsymptome verursacht als eine antero-inferiore Cochleostomie.<sup>31</sup>

Ähnlich zu unseren Untersuchungsergebnissen fanden sich in der Literatur auch Daten zu postoperativ verminderten subjektiven Schwindelbeschwerden. Klenzner et al. zeigten bei 5,6 % und Melvin et al. bei 15 % der Patienten eine Verbesserung der Schwindelsymptomatik nach Coch-

lea-Implantation.<sup>42,48</sup> Auch Katsiari et al. konnten mit einem eigens erstellten Fragebogen zeigen, dass Patienten sechs Monate nach einer Cochlea-Implantation weniger Schwindelbeschwerden angaben. Diese Arbeitsgruppe führte jedoch eine Erhebung von Schwindelbeschwerden zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten, ein Monat und sechs Monate postoperativ, durch. Betrachtet man den ersten postoperativen Messzeitpunkt, so fand sich auch hier eine erhöhte Schwindelfrequenz. Vier Patienten zeigten postoperativ neu aufgetretene Schwindelsymptome, die sich bis zum zweiten Messzeitpunkt bei drei Patienten wieder besserten. Ein Patient berichtete bereits einen Monat nach Operation von einer Verbesserung der Schwindelbeschwerden, die auch sechs Monate postoperativ weiterhin bestand.<sup>46</sup> Eine derartige Form von Schwindel, die nur passager nach Cochlea-Implantation auftritt, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht, eine vergleichende Aussage ist demnach nicht möglich.

Eine Verbesserung von Gleichgewichts- und Schwindelbeschwerden nach Cochlea-Implantation sehen wir in unserer Studie im Zusammenhang mit dem hohen Gewinn an Lebensqualität. Patienten mit Hörproblemen haben überdurchschnittlich oft auch Schwindelbeschwerden.<sup>43,52</sup> Eine Gehörschwäche kann mit Unsicherheitsgefühlen einhergehen. Durch die Verbesserung der Hörleistung nach Cochlea-Implantation kann diesem Defizit zum Teil entgegengewirkt und somit ein deutlicher Gewinn an Lebensqualität erzielt werden, wodurch zuvor wahrgenommener Schwindel nun möglicherweise weniger stark festgestellt wird. Eine weitere Erklärung kann in einer latenten vestibulären Costimulation liegen. Neuere Studien zu vestibulären Implantaten geben erste Hinweise auf den positiven Einfluss der Applikation eines elektrischen Grundtonus auf subjektive und objektive Schwindelbeschwerden.<sup>80</sup>

Insgesamt jedoch ist die Vergleichbarkeit von subjektivem Schwindel zwischen den verschiedenen Studien, insbesondere durch den Gebrauch unterschiedlicher Messmethoden, aber auch durch die Festlegung differierender Grenzen von Schwindel, nur eingeschränkt möglich. Basta et al. geben die Grenze für den Gesamtscore des DHI beispielsweise mit > 40 Punkten an,<sup>41</sup> dies liegt bereits vier Punkte über der Grenze in der vorliegenden Studie. In anderen Studien ist die festgelegte Grenze nicht ersichtlich.

Die Prävalenz von subjektivem Schwindel wurde getrennt sowohl zum präoperativen als auch zum postoperativen Zeitpunkt auf die dichotomen Merkmalsausprägungen „Geschlecht“, „Altersgruppe“, „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ untersucht. Hierbei ergaben sich in keiner untersuchten Stichprobe signifikante Unterschiede der Merkmalsausprägung.

Der Vergleich von prä- und postoperativer Stichprobe zeigte hingegen, dass Patienten, die ein Cochlea-Implantat der rechten Seite trugen, signifikant weniger funktionelle Beeinträchtigungen durch Schwindel nach der Operation aufwiesen als präoperativ. Für die linke Seite konnte dieser Zusammenhang nicht gezeigt werden, wobei der Grund für diesen Unterschied unklar bleibt. Zudem fand sich eine signifikante postoperative Verbesserung von Schwindel bei unilateral implantierten Patienten. Bei bilateral implantierten Patienten konnte dieser Zusammenhang nicht nachgewiesen werden, es zeigte sich aber auch keine signifikante Verschlechterung wie beispielsweise bei Wagner et al.<sup>40</sup>

Aus unseren Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass bei unilateral implantierten Patienten Unsicherheitsgefühle und Schwindel durch das verbesserte Hören und den dadurch entstehenden Gewinn an Lebensqualität kompensiert werden können. Bei bilateral implantierten Patienten ist die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß einer Verletzung eines oder sogar beider Vestibularorgane hingegen größer und dementsprechend schwieriger zu kompensieren.

Durch andere Studien zu subjektivem Schwindel konnten unsere Ergebnisse nicht bestätigt werden.

### 2.3 Vestibuläre Funktionsbeeinträchtigungen

Die Schädigung des Vestibularorgans wurde für die drei vestibulären Rezeptoren (Canales semicirculares, Sacculus und Utriculus) einzeln getestet und ausgewertet. In Tabelle 37 sind die wichtigsten Ergebnisse nochmals zusammengefasst.

	Präoperativ		Postoperativ		Pathol./Gesamt
	(%)	n	(%)	n	
Bogengang	(25 %)	n = 44	(37,8 %)	n = 45	5/39
Sacculus	(53,7 %)	n = 41	(79,5 %)	n = 44	8/39
Utriculus	(5,8 %)	n = 52	(11,5 %)	n = 52	3/52

**Tabelle 37:** Prozentuale Anteile von Funktionsausfällen auf Ebene der vestibulären Rezeptoren zum prä- und postoperativen Messzeitpunkt sowie Anzahl der konvertierten Personen mit präoperativ normaler und postoperativ pathologischer Vestibularfunktion

Schädigungen der vestibulären Rezeptoren können bereits vor einer Cochlea-Implantation vorkommen, am häufigsten finden sich hierbei Schädigungen des Sacculus gefolgt von den Bogengängen und letztlich dem Utriculus. Der Anteil vestibulärer Schädigungen der drei Rezeptoren nimmt postoperativ zu, wobei die anteilige Häufigkeit der Schädigungen identisch mit den präoperativen Ergebnissen ist. Auch Tien und Linthicum fanden bei der histopathologischen Untersuchung von Vestibularorganen nach Cochlea-Implantation am häufigsten eine Schädigung

des Sacculus, hier gefolgt vom Utriculus und den Bogengängen. Histopathologisch objektivierbare Schädigungen können hierbei auch ohne Auswirkungen auf den subjektiven Schwindel bleiben. Zudem lautet eine weitere wichtige Erkenntnis dieser Studie, dass das vorsichtige Einführen der Elektroden in die Scala tympani weniger Schädigungen nach sich zieht<sup>64</sup> und somit eine gute Operationstechnik von großer Wichtigkeit ist.

Vor Cochlea-Implantation fanden wir bei 25 % unserer Patienten eine Funktionsstörung auf Ebene der horizontalen Bogengänge in Form einer Hypo- oder Areflexie bei der thermischen Funktionsprüfung. Eine Studie von Todt et al. fand mit 22,6 % einen ähnlichen Wert.<sup>31</sup> Weitere Untersuchungen hielten hingegen höhere präoperative Bogengangs-Dysfunktionen mit Anteilen zwischen 30 und 78,9 % fest.<sup>42,46,50,63</sup> Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen zeigte das Patientenkollektiv von Klenzner et al. präoperativ keinerlei Funktionsstörungen des horizontalen Bogenganges.<sup>48</sup> Insgesamt existiert dementsprechend eine große Spannweite in der Häufigkeit präoperativer Bogengangs-Dysfunktionen. Aktuell gibt es unserer Erkenntnis nach keine umfänglichen Studien, die den Zusammenhang zwischen Gehörlosigkeit und vestibulärer Funktionsbeeinträchtigung untersuchen, obschon ein pathophysiologischer Zusammenhang naheliegt.

Nach Cochlea-Implantation fand sich in unserer Studie ein Anteil pathologischer Bogengangsfunktionen von 37,8 %, dies deckt sich mit vergleichbaren Studien.<sup>31</sup> Allerdings berücksichtigt dieser Wert ausschließlich die absoluten Dysfunktionen. Zwecks Vergleichbarkeit verschiedener Studien erscheint es vielmehr als sinnvoll, den relativen Anteil an neu aufgetretenen Funktionsstörungen zu untersuchen. So traten in der vorliegenden Studie postoperativ in 12,8 % (5/39) der Fälle neue Bogengangs-Dysfunktionen auf. In einem Fall konnte nach Cochlea-Implantation eine Verbesserung der Bogengangsfunktion nachgewiesen werden. In der aktuellen Literatur erscheint die Häufigkeit postoperativer Bogengangs-Funktionsstörungen mit 5,9–60 % als sehr uneinheitlich.<sup>31,40,42,46–50</sup> Dies kann beispielsweise mit dem jeweiligen Operationsverfahren oder der Erfahrung des Operateurs zusammenhängen.

Eine Verbesserung der Bogengangsfunktion scheint selten.<sup>46</sup> Dabei muss jedoch eine Studie von Szirmai et al. hervorgehoben werden, die von mehr Verbesserungen als Verschlechterungen der Bogengangsfunktion nach Cochlea-Implantation berichtet.<sup>81</sup> Möglicherweise ist die Ursache hierfür die Mastoidektomie bei Implantation, welche die Reflexantworten des horizontalen Bogenganges bei thermischer Reizung verändert.<sup>81</sup>

Der Vergleich von prä- und postoperativer Stichprobe bezüglich der Ergebnisse der thermischen Funktionsprüfung erbrachte kein signifikantes Ergebnis. Die beiden Stichproben unterschieden sich demnach nur zufällig voneinander. Katsiari et al. und Krause et al. hingegen fanden in ihren

Studien einen signifikanten Unterschied zwischen prä- und postoperativen Ergebnissen der kalorischen Funktionstestung, so dass hier von einem Einfluss der Cochlea-Implantation auf die Funktion des horizontalen Bogenganges ausgegangen wurde.<sup>46,47,50,63</sup> Eine mangelnde Vergleichbarkeit der Studien zu diesem Thema ergibt sich sowohl durch unterschiedliche Auswertungsmethoden der kalorischen Testung als auch durch unterschiedliche Implantationsverfahren. Todt et al. konnten zeigen, dass es postoperativ zu signifikant weniger Funktionsstörungen des horizontalen Bogenganges kommt, wenn der auch von uns verwendete modifizierte Rundfensterzugang als Insertionsmethode der Elektroden gewählt wird.<sup>31</sup>

Eine Sacculus-Funktionsstörung zeigten präoperativ bereits 53,7 % unseres Patientenkollektivs. Vergleichbare Studien fanden ebenfalls präoperative Dysfunktionen des Sacculus um die 50 %.<sup>40,46,47</sup> Todt et al. und Melvin et al. zeigten diesbezüglich mit 37 % einen kleineren Anteil.<sup>31,42</sup> Darüber hinaus zeigte das Patientenkollektiv von Basta et al. keinerlei präoperative Funktionsstörungen.<sup>41</sup>

Unabhängig vom Ausgangswert war allen Studien gemein, dass es postoperativ zu einer vermehrten Sacculus-Funktionsstörung kam.<sup>31,40–42,46,47,50,52</sup> Unsere Ergebnisse zeigten eine absolute postoperative Dysfunktion von 79,5 %. Dabei wiesen 8 von 39 (20,5 %) Patienten eine neu aufgetretene postoperative Funktionsbeeinträchtigung des Sacculus auf. In anderen Studien ergab sich eine Spannweite der Inzidenz zwischen 22,7 und 85,7 %.<sup>31,40–42,46,47,50</sup> Bemerkenswert ist eine Studie von Jin et al., die eine Inzidenz von 100 % fand. Alle Patienten, Kinder im Alter zwischen zwei und sieben Jahren, mit präoperativer normaler Sacculus-Funktion zeigten hier postoperative Funktionsstörungen, sobald das Cochlea-Implantat ausgeschaltet war. Nach dessen Einschalten konnten noch bei vier von zwölf Patienten cVEMPs gemessen werden.<sup>52</sup> Möglicherweise handelt es sich um eine Stimulation von Vestibularnervenfasern, die durch Hörimpulse getriggert werden. Ein Vergleich dieser Studie ist letztendlich aber auf Grund des unterschiedlichen Patientenkollektivs nur eingeschränkt möglich.

Beim Vergleich der prä- und postoperativen Stichprobe wurde mittels des McNemar-Tests eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,008$  ermittelt. Die beiden Stichproben unterschieden sich somit signifikant voneinander. Funktionsbeeinträchtigungen auf Ebene des Sacculus traten demnach signifikant häufiger nach Cochlea-Implantation auf. Signifikante Unterschiede zwischen der prä- und postoperativen Funktion des Sacculus fanden auch Katsiari et al. sowie Krause et al. in ihren Studienergebnissen.<sup>46,47,50</sup> Wie bereits andere Autoren mit ähnlichen Ergebnissen postulierten, ist davon auszugehen, dass eine erhöhte Funktionsbeeinträchtigung des Sacculus nach Cochlea-Implantation auf einer Schädigung dieses Organs während der Operation beruht. Die

anatomische Nähe des Sacculus zur Cochlea erklärt, warum diese Struktur häufiger beschädigt wird als die weiter entfernten Bogengänge und der Utriculus.<sup>41</sup> Auch hier konnten Todt et al. zeigen, dass es bei Verwendung der modifizierten Rundfensterinsertion zu signifikant weniger Sacculus-Funktionsbeeinträchtigungen kommt als bei anderen Cochleostomie-Verfahren.<sup>31</sup>

Im Rahmen der Utriculus-Diagnostik mit Hilfe der subjektiven visuellen Vertikalen bei exzentrischer Rotation fand sich zum präoperativen Zeitpunkt eine Funktionsstörung in 2,3 % der Fälle, zusammen mit den Daten der subjektiven haptischen Vertikale ergab sich insgesamt eine Funktionsstörung bei 5,8 % der Patienten.

Postoperativ traten insgesamt bei 11,5 % der Patienten Utriculus-Dysfunktionen auf, wobei die Inzidenz neu aufgetretener Funktionsstörungen nach Cochlea-Implantation 6,1 % betrug.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Utriculus-Funktionsdiagnostik in der prä- und der postoperativen Stichprobe ergab sich kein signifikanter Unterschied, weder für die Daten der exzentrischen Rotation noch für die der subjektiven haptischen Vertikale oder beide Datensätze gemeinsam. Schlussfolgernd kommt es nach Cochlea-Implantation nicht statistisch gehäuft zu Funktionsbeeinträchtigungen des Utriculus.

Vergleichende Ergebnisse liegen im Rahmen der aktuellen Literatur nicht vor. Daten zur subjektiven visuellen Vertikale bei exzentrischer Rotation sind in Zusammenhang mit Cochlea-Implantationen nicht veröffentlicht. Basta et al. untersuchten ihre Patienten allein anhand der subjektiven haptischen Vertikale und mit einer insgesamt geringeren Kollektivgröße. Auch hier fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativer Stichprobe.<sup>41</sup>

Vibert et al. untersuchten allgemein die Otolithenorgane anhand der „off-vertical axis rotation“. Die Studie zeigte, dass es bei sechs getesteten Personen mit postoperativ erhaltener semicircular Canal-Funktion zu keiner Verschlechterung der Otolithenfunktion kam.<sup>58</sup> Die tatsächliche Aussagekraft hinsichtlich der Otolithenbeeinträchtigung nach Cochlea-Implantation wird in dieser Studie jedoch dadurch gemindert, dass die Probanden mit postoperativer Verschlechterung der Bogengangsfunktion nicht der „off-vertical axis rotation“ zugeführt wurden und auch keine präoperativen Ergebnisse dieser Methode vorliegen.<sup>50</sup>

Innerhalb des aktuellen Wissensstandes gibt es somit keine evidenten Daten über das Ausmaß der Utriculus-Funktionsbeeinträchtigung nach Versorgung mit einem Cochlea-Implantat.

Alle Ergebnisse der vestibulären Rezeptoren wurden zusätzlich auf einen möglichen Einfluss der Merkmale „Geschlecht“, „Altersgruppe“ (< 60 Jahre, ≥ 60 Jahre), „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ (uni- oder bilateral) getestet.

Im Rahmen der Bogengangsdiagnostik zeigte sich, dass bei jüngeren Patienten (< 60 Jahre) postoperativ signifikant häufiger Funktionsstörungen auftreten als bei älteren ( $\geq$  60 Jahre). Kontrovers zu unseren Ergebnissen beschreiben Enticott et al., dass Patienten über 70 Jahre postoperativ ein signifikant höheres Risiko für Bogengangs-Funktionsbeeinträchtigungen aufweisen.<sup>43</sup>

Bei dem Vergleich der beiden Stichproben (prä- zu postoperativ) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die oben genannten Merkmalsausprägungen. Gegensätzlich hierzu fanden Brey et al. einen signifikanten Unterschied zwischen prä- und postoperativer Bogengangsfunktion in Bezug auf das Alter. So zeigten ältere Patienten ( $\geq$  60 Jahre) eine signifikante Funktionsverschlechterung nach Cochlea-Implantation.<sup>65</sup> Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass ältere Patienten vestibuläre Funktionsbeeinträchtigungen nicht mehr ausreichend peripher kompensieren können. Die Ursache einer postoperativ häufigeren Funktionsstörung auf Ebene der horizontalen Bogengänge bei jüngeren Patienten in unserer Studie bleibt unklar.

Im Rahmen der Sacculus-Funktionsdiagnostik fanden sich sowohl zum prä- als auch zum postoperativen Messzeitpunkt keine Unterschiede auf Ebene der oben genannten dichotomen Merkmale.

Beim Vergleich beider Stichproben zeigte sich hingegen, dass unilateral implantierte Patienten postoperativ signifikant häufiger Sacculus-Dysfunktionen aufwiesen als präoperativ. Für bilateral implantierte Patienten ergab sich kein signifikanter Unterschied, wobei in unserer Studie mit neun Patienten insgesamt nur wenige bilateral implantierte Patienten eingeschlossen werden konnten und davon lediglich zwei eine normale präoperative Funktion aufwiesen. Insgesamt deckt sich diese Aussage dennoch mit der bereits oben diskutierten signifikanten Beeinträchtigung der Sacculus-Funktion nach Cochlea-Implantation. Bereits bei einseitiger Implantation kann der Sacculus geschädigt werden, was unter Umständen zu vestibulären Funktionsbeeinträchtigungen führt.

In einer Studie zu vestibulären Beeinträchtigungen nach bilateraler Cochlea-Implantation von Wagner et al. konnte hingegen weder nach einseitiger noch nach zweiseitiger Implantation eine signifikante Funktionsstörung des Sacculus beobachtet werden.<sup>40</sup>

Im Rahmen der Utriculus-Diagnostik fanden sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Merkmale „Geschlecht“, „Alter“ (< 60 Jahre,  $\geq$  60 Jahre), „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ (uni- oder bilateral). Es konnten somit keine Einfluss- oder prädiktiven Faktoren für das Auftreten postoperativer Utriculus-Dysfunktionen gefunden werden. In der Literatur gibt es unserem Wissen nach hierzu aktuell noch keine vergleichbaren Studienergebnisse.

## 2.4 Korrelation der Einzelbefunde

Die Untersuchungsergebnisse wurden hinsichtlich des subjektiv empfundenen Schwindels und der objektivierbaren vestibulären Funktionsbeeinträchtigungen auf einen möglichen Zusammenhang überprüft.

Für den präoperativen Messzeitpunkt fand sich hierbei kein Zusammenhang zwischen subjektivem Schwindel und Funktionsstörungen auf Ebene der drei vestibulären Rezeptoren.

Postoperativ zeigte sich hingegen im Rahmen der Bogengangsdagnostik ein entsprechender Zusammenhang, demnach wiesen Patienten mit höheren DHI-Scores signifikant häufiger Funktionsbeeinträchtigungen des horizontalen Bogenganges auf und umgekehrt ( $r = -0,417$ ,  $p = 0,011$ ).

Im Rahmen der Sacculus-Diagnostik zeigte sich bei der Analyse der individuellen Ergebnisse, dass bei Bestehen von postoperativ subjektivem Schwindel stets auch der Sacculus postoperativ eine Beeinträchtigung aufwies. War die Sacculus-Funktion hingegen normal, war immer auch der DHI normwertig. Da aber auch postoperative Sacculus-Beeinträchtigungen bestanden, ohne dass es zu subjektivem Schwindel kam, zeigte sich der Zusammenhang nicht signifikant ( $r = 0,046$ ). Hier ist von einer Variabilität von Kompensationsmechanismen oder weiteren noch unklaren Faktoren auszugehen.

Den Utriculus betreffend fand sich kein Zusammenhang zwischen objektivierbaren Funktionsstörungen und subjektivem Schwindel.

Geringe Zusammenhänge zwischen subjektivem Schwindel und neurootologischen Untersuchungsergebnissen fanden auch Studien von Melvin et al., Enticott et al. sowie Wagner et al.,<sup>40,42,43</sup> wobei in diesen Studien der Utriculus nicht getestet wurde. In einer histopathologischen Untersuchung konnte zudem gezeigt werden, dass objektivierbare Schädigungen auch ohne Auswirkungen auf den subjektiven Schwindel bleiben können.<sup>64</sup>

Abschließend wurde noch der Zusammenhang der Merkmale „Alter bei OP“, „Geschlecht“, „operierte Seite“ und „CI-Versorgung“ mit den Ergebnissen der subjektiven und objektivierbaren vestibulären Funktionsdiagnostik überprüft.

Hierbei zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Alter (als absoluter Zahl) und Ergebnissen der thermischen Funktionsprüfung, ( $r = 0,304$ ,  $p = 0,042$ ). Ältere Patienten offenbarten signifikant häufiger eine physiologische Bogengangsfunktion, jüngere Patienten hingegen häufiger eine pathologische Funktion nach Cochlea-Implantation. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der bereits oben geführten Diskussion zum Einfluss des Faktors Alter (Altersgruppen  $\geq$  bzw.  $< 60$  Jahre) auf die Bogengangsfunktion.

Zudem wurde aber auch ein signifikanter Zusammenhang zwischen Alter und Ergebnissen der Sacculus-Diagnostik gefunden ( $r = -0,420$ ,  $p = 0,005$ ), der von uns zuvor nicht als Einflussfaktor detektiert worden war. Dieser Zusammenhang sagt aus, dass ältere Patienten postoperativ häufiger pathologische cVEMPs zeigen, jüngere Patienten hingegen normale. Dieser Zusammenhang wurde in anderen Studien zu Cochlea-Implantaten bisher noch nicht nachgewiesen.

Ein Zusammenhang zwischen Alter und DHI-Score war zunächst nicht zu finden. Nach Ausschluss der Patienten ohne Schwindelbeschwerden zeigte sich indes auch hier ein signifikanter Zusammenhang ( $r = 0,515$ ,  $p = 0,014$ ). Patienten mit Schwindelbeschwerden nach Cochlea-Implantation (DHI-Score  $> 0$ ) zeigten demnach umso höhere Werte im DHI-Gesamtscore, je älter sie bei Operation waren. Auch Fina et al. sowie Krause et al. hielten fest, dass ein höheres Alter einen Risikofaktor für postoperativen Schwindel darstellt.<sup>50,79</sup> Möglicherweise können ältere Patienten Funktionsausfälle des Vestibularorgans nicht mehr so gut kompensieren wie jüngere.

### **3 Schlussfolgerung**

Insgesamt konnten wir in unserer Arbeit zeigen, dass es nach Cochlea-Implantation zu einer Verbesserung von subjektiv empfundenem Schwindel kommt. Auf Grund des Vergleiches mit anderen ebenfalls retrospektiven Studien ist hier nicht das Studiendesign, sondern vielmehr die Kombination aus atraumatischer Insertion und vestibulärer Kostimulation als eine mögliche Ursache dieser Verbesserung von Schwindelempfinden zu sehen.

Auf Ebene aller peripheren vestibulären Rezeptoren können hingegen Schädigungen eintreten, wobei am häufigsten der Sacculus betroffen ist. Diese Schädigungen sind nur bedingt als ursächlich für subjektive Schwindelbeschwerden anzusehen. So fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen subjektivem Schwindel und postoperativer Bogengangsfunktion sowie ein individueller Zusammenhang zwischen erhöhtem DHI und Sacculus-Funktion. Umgekehrt ergab sich jedoch kein Zusammenhang zwischen Sacculus-Ausfall und DHI-Anstieg.

Die erstmalige Untersuchung des Einflusses von Cochlea-Implantation auf die Funktion des Utriculus konnte keinen signifikanten Unterschied zwischen prä- und postoperativem Messzeitpunkt aufzeigen. Eine Utriculus-Schädigung kommt auf Grund der anatomischen Lage zur Cochlea nach Cochlea-Implantation weniger oft vor als Sacculus-Schädigungen. Auf Grund der direkteren Lagebeziehung zwischen Sacculus und Mündung der Cochlea in das labyrinthäre Vestibulum ist eine Schädigung durch die intracochleäre Flüssigkeitsdruckwelle beim Einführen der Elektrode wahrscheinlich.

## **V Zusammenfassung**

Cochlea-Implantate sind Innenohrprothesen, die mittels elektrischer Reizung des intakten Hörnervs ertaubten oder stark hörgeschädigten Menschen zu einer auditiven Wahrnehmung verhelfen. Obwohl es sich um ein sicheres und etabliertes Verfahren handelt, kann es dennoch postoperativ zu Komplikationen kommen.

In der vorliegenden Studie wurden das subjektive Schwindelempfinden und die objektive vestibuläre Rezeptorfunktion vor und nach Cochlea-Implantation quantifiziert und auf Zusammenhänge untersucht. Hierzu wurde zum einen das subjektive Schwindelempfinden mit Hilfe des Dizziness Handicap Inventory erhoben. Hierbei handelt es sich um einen etablierten Fragebogen zur subjektiven Messung von Lebensqualitätseinschränkungen durch Schwindelbeschwerden. Es zeigte sich postoperativ eine signifikante Verbesserung subjektiver Schwindelsymptome, besonders in Hinblick auf funktionelle Beeinträchtigungen.

Zum anderen wurden in der vorliegenden Studie drei vestibuläre Rezeptoren (horizontaler Bogengang, Sacculus und Utriculus) mit Hilfe apparativer Verfahren (kalorische Prüfung, cervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale und svV bei exzentrischer Rotation und shV) untersucht, um Schwindelbeschwerden nach Cochlea-Implantation zu objektivieren. Es zeigte sich, dass der Sacculus, gefolgt vom horizontalen Bogengang und dem Utriculus, nach einer Cochlea-Implantation am häufigsten geschädigt ist. Allein für den Sacculus zeigte sich auch ein signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativer Stichprobe. Nach Cochlea-Implantation kam es demnach signifikant häufiger zu Funktionsstörungen des Sacculus, nicht aber zu Funktionsstörungen des horizontalen Bogengangs oder des Utriculus. Wir führen dies auf die anatomische Beziehung des Sacculus im labyrinthären Vestibulum zur Cochlea zurück, wodurch eine Verletzung im Rahmen der Elektrodeninsertion wahrscheinlich ist.

In der vorliegenden Studie wurde zudem der Zusammenhang zwischen subjektiven Schwindelbeschwerden und objektiver vestibulärer Rezeptorfunktion untersucht. Hierbei ergab sich ein Zusammenhang zwischen den postoperativen Ergebnissen zur horizontalen Bogengangsfunktion in der kalorischen Prüfung und dem DHI-Score. Es konnte somit gezeigt werden, dass Patienten mit postoperativem subjektivem Schwindel häufiger Bogengangsfunktionsstörungen aufwiesen. Zudem gingen mit postoperativ bestehendem subjektivem Schwindel auch stets Funktionsbeeinträchtigungen des Sacculus einher, dieser Zusammenhang bestand jedoch nicht umgekehrt.

Unserer Kenntnis nach wurde in der vorliegenden Arbeit erstmals die Utriculus-Funktion im Gesamtkontext der vestibulären Rezeptorfunktionen und des subjektiven Schwindels nach Cochlea-Implantation untersucht, so dass erste Erkenntnisse aus dem Schädigungsmuster aller vestibulären Rezeptoren nach einer Cochlea-Implantat-Versorgung gezogen werden konnten.

Vor dem Hintergrund der verwendeten Operationsmethode kommt es postoperativ zu keiner signifikanten Utriculus-Funktionsstörung. Ein Zusammenhang zwischen Utriculus-Dysfunktionen und subjektivem Schwindel konnte nicht gezeigt werden. Eine Schädigung des Utriculus durch Cochlea-Implantation erscheint auf Grund der vorliegenden Ergebnisse als unwahrscheinlich.

## **Abkürzungsverzeichnis**

CI – Cochlea-Implantat

cVEMPs – cervikale vestibulär evozierte myogene Potenziale

DHI – Dizziness Handicap Inventory

EMG – Elektromyogramm

ENG – Elektronystagmografie

oVEMPs – okuläre vestibulär evozierte myogene Potenziale

shV – subjektive haptische Vertikale

svV – subjektive visuelle Vertikale

VOG – Videookulografie

## Literaturverzeichnis

1. Crews, J. E. & Campbell, V. A. Vision impairment and hearing loss among community-dwelling older Americans: implications for health and functioning. *Am. J. Public Health* 94, 823–829 (2004).
2. WHO | Deafness and hearing impairment. WHO at <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/en/index.html>>
3. Kempf, H. G., Tempel, S., Johann, K. & Lenarz, T. [Complications of cochlear implant surgery in children and adults]. *Laryngorhinootologie*. 78, 529–537 (1999).
4. Spöndlin, H. in *Oto-Rhino-Laryngol. Klin. Prax.* 1, 32–80 (Thieme, 1994).
5. Zenner, H.-P. in *Oto-Rhino-Laryngol. Klin. Prax.* 1, 81–230 (Thieme, 1994).
6. Hamann, K.-F. in *Oto-Rhino-Laryngol. Klin. Prax.* 1, 260–297 (Thieme, 1994).
7. DJOURNO, A. & EYRIES, C. [Auditory prosthesis by means of a distant electrical stimulation of the sensory nerve with the use of an indwelt coiling]. *Presse Médicale* 65, 1417 (1957).
8. House, W. F. Cochlear implants. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 85 suppl 27, 1–93 (1976).
9. Bilger, R. C. & Black, F. O. Auditory prostheses in perspective. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Suppl.* 86, 3–10 (1977).
10. Clark, G. M., Tong, Y. C. & Martin, L. F. A multiple-channel cochlear implant: an evaluation using open-set CID sentences. *The Laryngoscope* 91, 628–634 (1981).
11. Eisen, M. D. in *Cochlear Implants* 1–10 (Thieme, 2006).
12. Gates, G. A. & Miyamoto, R. T. Cochlear implants. *N. Engl. J. Med.* 349, 421–423 (2003).
13. Peterson, N. R., Pisoni, D. B. & Miyamoto, R. T. Cochlear implants and spoken language processing abilities: review and assessment of the literature. *Restor. Neurol. Neurosci.* 28, 237–250 (2010).
14. NIH consensus conference. Cochlear implants in adults and children. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* 274, 1955–1961 (1995).
15. Laszig, R., Aschendorff, A., Schipper, J. & Klenzner, T. [Current developments in cochlear implantation]. *HNO* 52, 357–362 (2004).
16. Cosetti, M. & Roland, J. T., Jr. Cochlear implantation in the very young child: issues unique to the under-1 population. *Trends Amplif.* 14, 46–57 (2010).
17. Lundin, K., Näsval, A., Köbler, S., Linde, G. & Rask-Andersen, H. Cochlear implantation in the elderly. *Cochlear Implants Int.* (2012). doi:10.1179/1754762812Y.0000000006
18. Lesinski-Schiedat, A., Illg, A., Heermann, R., Bertram, B. & Lenarz, T. Paediatric cochlear implantation in the first and in the second year of life: a comparative study. *Cochlear Implants Int.* 5, 146–159 (2004).
19. Waltzman, S. B. & Roland, J. T., Jr. Cochlear implantation in children younger than 12 months. *Pediatrics* 116, e487–493 (2005).
20. Roland, J. T., Jr, Cosetti, M., Wang, K. H., Immerman, S. & Waltzman, S. B. Cochlear implantation in the very young child: Long-term safety and efficacy. *The Laryngoscope* 119, 2205–2210 (2009).
21. Hinderink, J. B., Mens, L. H., Brox, J. P. & van den Broek, P. Performance of prelingually and postlingually deaf patients using single-channel or multichannel cochlear implants. *The Laryngoscope* 105, 618–622 (1995).
22. Zeitler, D. M. *et al.* Cochlear implantation in prelingually deafened adolescents. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 166, 35–41 (2012).
23. Van Dijk, J. E. *et al.* Predictors of cochlear implant performance. *Audiol. Off. Organ Int. Soc. Audiol.* 38, 109–116 (1999).
24. Waltzman, S. B., Fisher, S. G., Niparko, J. K. & Cohen, N. L. Predictors of postoperative performance with cochlear implants. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Suppl.* 165, 15–18 (1995).

25. Van Hoesel, R. J. M. & Tyler, R. S. Speech perception, localization, and lateralization with bilateral cochlear implants. *J. Acoust. Soc. Am.* 113, 1617–1630 (2003).
26. Eapen, R. J. & Buchman, C. A. Bilateral cochlear implantation: current concepts. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 17, 351–355 (2009).
27. Chang, S.-A. *et al.* Performance over time on adults with simultaneous bilateral cochlear implants. *J. Am. Acad. Audiol.* 21, 35–43 (2010).
28. Graham, J. *et al.* Bilateral sequential cochlear implantation in the congenitally deaf child: evidence to support the concept of a ‘critical age’ after which the second ear is less likely to provide an adequate level of speech perception on its own. *Cochlear Implants Int.* 10, 119–141 (2009).
29. Arndt, S. *et al.* [Unilateral deafness and cochlear implantation: audiological diagnostic evaluation and outcomes]. *HNO* 59, 437–446 (2011).
30. Gantz, B. J. in *Kopf- Hals-Chir.* 2, 371–386 (Thieme, 1996).
31. Todt, I., Basta, D. & Ernst, A. Does the surgical approach in cochlear implantation influence the occurrence of postoperative vertigo? *Otolaryngol. --Head Neck Surg. Off. J. Am. Acad. Otolaryngol. -Head Neck Surg.* 138, 8–12 (2008).
32. Todt, I., Basta, D., Seidl, R. & Ernst, A. Advances to electrode pullback in cochlear implant surgery. *ScientificWorldJournal* 2012, 126767 (2012).
33. Cohen, N. L., Hoffman, R. A. & Stroschein, M. Medical or surgical complications related to the Nucleus multichannel cochlear implant. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Suppl.* 135, 8–13 (1988).
34. Green, K. M. J., Bhatt, Y. M., Saeed, S. R. & Ramsden, R. T. Complications following adult cochlear implantation: experience in Manchester. *J. Laryngol. Otol.* 118, 417–420 (2004).
35. Brito, R. *et al.* Surgical complications in 550 consecutive cochlear implantation. *Braz. J. Otorhinolaryngol.* 78, 80–85 (2012).
36. Cohen, N. L. & Hoffman, R. A. Complications of cochlear implant surgery in adults and children. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 100, 708–711 (1991).
37. Black, F. O. Present vestibular status of subjects implanted with auditory prostheses. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Suppl.* 86, 49–56 (1977).
38. Jacobson, G. P. & Newman, C. W. The development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 116, 424–427 (1990).
39. Kurre, A. *et al.* Translation, cross-cultural adaptation and reliability of the german version of the dizziness handicap inventory. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 30, 359–367 (2009).
40. Wagner, J. H. *et al.* Vestibular and taste disorders after bilateral cochlear implantation. *Eur. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. Off. J. Eur. Fed. Oto-Rhino-Laryngol. Soc. EUFOS Affil. Ger. Soc. Oto-Rhino-Laryngol. - Head Neck Surg.* 267, 1849–1854 (2010).
41. Basta, D., Todt, I., Goepel, F. & Ernst, A. Loss of saccular function after cochlear implantation: the diagnostic impact of intracochlear electrically elicited vestibular evoked myogenic potentials. *Audiol. Neurootol.* 13, 187–192 (2008).
42. Melvin, T.-A. N., Della Santina, C. C., Carey, J. P. & Migliaccio, A. A. The effects of cochlear implantation on vestibular function. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 30, 87–94 (2009).
43. Enticott, J. C., Tari, S., Koh, S. M., Dowell, R. C. & O’Leary, S. J. Cochlear implant and vestibular function. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 27, 824–830 (2006).
44. HALLPIKE, C. S. The caloric tests. *Pract. Otorhinolaryngol. (Basel)* 17, 173–178 (1955).
45. Basta, D. in *Gleichgewichtsstörungen* 18–69 (Thieme, 2012).

46. Katsiari, E. *et al.* Influence of cochlear implantation on the vestibular function. *Eur. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. Off. J. Eur. Fed. Oto-Rhino-Laryngol. Soc. EUFOS Affil. Ger. Soc. Oto-Rhino-Laryngol. - Head Neck Surg.* (2012). doi:10.1007/s00405-012-1950-6
47. Krause, E., Louza, J. P. R., Wechtenbruch, J. & Gürkov, R. Influence of cochlear implantation on peripheral vestibular receptor function. *Otolaryngol.--Head Neck Surg. Off. J. Am. Acad. Otolaryngol.-Head Neck Surg.* 142, 809–813 (2010).
48. Klenzner, T., Neumann, M., Aschendorff, A. & Laszig, R. [Caloric stimulation of the vestibular organ after cochlear implant surgery]. *Laryngorhinootologie.* 83, 659–664 (2004).
49. Ito, J. Influence of the multichannel cochlear implant on vestibular function. *Otolaryngol.--Head Neck Surg. Off. J. Am. Acad. Otolaryngol.-Head Neck Surg.* 118, 900–902 (1998).
50. Krause, E., Wechtenbruch, J., Rader, T. & Gürkov, R. Influence of cochlear implantation on sacculus function. *Otolaryngol.--Head Neck Surg. Off. J. Am. Acad. Otolaryngol.-Head Neck Surg.* 140, 108–113 (2009).
51. Colebatch, J. G., Halmagyi, G. M. & Skuse, N. F. Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 57, 190–197 (1994).
52. Jin, Y., Nakamura, M., Shinjo, Y. & Kaga, K. Vestibular-evoked myogenic potentials in cochlear implant children. *Acta Otolaryngol. (Stockh.)* 126, 164–169 (2006).
53. Wetzig, J., Reiser, M., Martin, E., Bregenzer, N. & von Baumgarten, R. J. Unilateral centrifugation of the otoliths as a new method to determine bilateral asymmetries of the otolith apparatus in man. *Acta Astronaut.* 21, 519–525 (1990).
54. Clarke, A. H. & Engelhorn, A. Unilateral testing of utricular function. *Exp. Brain Res. Exp. Hirnforsch. Expérimentation Cérébrale* 121, 457–464 (1998).
55. Janky, K. L. & Shepard, N. T. Unilateral centrifugation: utricular assessment and protocol comparison. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 32, 116–121 (2011).
56. Clarke, A. H., Schönfeld, U. & Helling, K. Unilateral examination of utricle and saccule function. *J. Vestib. Res. Equilib. Orientat.* 13, 215–225 (2003).
57. Clarke, A. H., Schönfeld, U., Hamann, C. & Scherer, H. Measuring unilateral otolith function via the otolith-ocular response and the subjective visual vertical. *Acta Oto-Laryngol. Suppl.* 545, 84–87 (2001).
58. Vibert, D., Häusler, R., Kompis, M. & Vischer, M. Vestibular function in patients with cochlear implantation. *Acta Oto-Laryngol. Suppl.* 545, 29–34 (2001).
59. Furman, J. M., Schor, R. H. & Schumann, T. L. Off-vertical axis rotation: a test of the otolith-ocular reflex. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 101, 643–650 (1992).
60. Böhmer, A. [Evaluating otolith function with subjective visual vertical discrimination]. *HNO* 45, 533–537 (1997).
61. Coordes, A. *et al.* Sound-induced vertigo after cochlear implantation. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 33, 335–342 (2012).
62. Kantner, C. & Gürkov, R. Characteristics and clinical applications of ocular vestibular evoked myogenic potentials. *Hear. Res.* 294, 55–63 (2012).
63. Krause, E. *et al.* Effect of cochlear implantation on horizontal semicircular canal function. *Eur. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. Off. J. Eur. Fed. Oto-Rhino-Laryngol. Soc. EUFOS Affil. Ger. Soc. Oto-Rhino-Laryngol. - Head Neck Surg.* 266, 811–817 (2009).
64. Tien, H.-C. & Linthicum, F. H., Jr. Histopathologic changes in the vestibule after cochlear implantation. *Otolaryngol.--Head Neck Surg. Off. J. Am. Acad. Otolaryngol.-Head Neck Surg.* 127, 260–264 (2002).
65. Brey, R. H. *et al.* Vestibular effects associated with implantation of a multiple channel cochlear prosthesis. *Am. J. Otol.* 16, 424–430 (1995).

66. Prieto, L., Santed, R., Cobo, E. & Alonso, J. A new measure for assessing the health-related quality of life of patients with vertigo, dizziness or imbalance: the VDI questionnaire. *Qual. Life Res. Int. J. Qual. Life Asp. Treat. Care Rehabil.* 8, 131–139 (1999).
67. Murphy, M. P. & Gates, G. A. Measuring the effects of Meniere's disease: results of the Patient-Oriented Severity Index (MD POSI) version 1. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 108, 331–337 (1999).
68. Yardley, L., Masson, E., Verschuur, C., Haacke, N. & Luxon, L. Symptoms, anxiety and handicap in dizzy patients: development of the vertigo symptom scale. *J. Psychosom. Res.* 36, 731–741 (1992).
69. Duracinsky, M., Mosnier, I., Bouccara, D., Sterkers, O. & Chassany, O. Literature review of questionnaires assessing vertigo and dizziness, and their impact on patients' quality of life. *Value Health J. Int. Soc. Pharmacoeconomics Outcomes Res.* 10, 273–284 (2007).
70. Maes, L. *et al.* Clinical usefulness of the rotatory, caloric, and vestibular evoked myogenic potential test in unilateral peripheral vestibular pathologies. *Int. J. Audiol.* 50, 566–576 (2011).
71. Davidson, J., Wright, G., McIlmoyle, L., Canter, R. J. & Barber, H. O. The reproducibility of caloric tests of vestibular function in young and old subjects. *Acta Otolaryngol. (Stockh.)* 106, 264–268 (1988).
72. Basta, D., Todt, I. & Ernst, A. Normative data for P1/N1-latencies of vestibular evoked myogenic potentials induced by air- or bone-conducted tone bursts. *Clin. Neurophysiol. Off. J. Int. Fed. Clin. Neurophysiol.* 116, 2216–2219 (2005).
73. Young, Y.-H. Vestibular evoked myogenic potentials: optimal stimulation and clinical application. *J. Biomed. Sci.* 13, 745–751 (2006).
74. Vicianá, D. & Lopez-Escamez, J. A. Short tone bursts are better than clicks for cervical vestibular-evoked myogenic potentials in clinical practice. *Eur. Arch. Oto-Rhino-Laryngol. Off. J. Eur. Fed. Oto-Rhino-Laryngol. Soc. EUFOS Affil. Ger. Soc. Oto-Rhino-Laryngol. - Head Neck Surg.* 269, 1857–1863 (2012).
75. Isaradisaikul, S. *et al.* Reliability of vestibular evoked myogenic potentials in healthy subjects. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 29, 542–544 (2008).
76. Bush, M. L., Jones, R. O. & Shinn, J. B. The clinical reliability of vestibular evoked myogenic potentials. *Ear. Nose. Throat J.* 89, 170–176 (2010).
77. Eleftheriadou, A. *et al.* Test-retest reliability of p13n23 and n34p44 components of vestibular evoked myogenic potentials in a large healthy population. *J. Otolaryngol. - Head Neck Surg. J. Oto-Rhino-Laryngol. Chir. Cervico-Faciale* 38, 462–467 (2009).
78. Akin, F. W., Murnane, O. D., Pearson, A., Byrd, S. & Kelly, K. J. Normative data for the subjective visual vertical test during centrifugation. *J. Am. Acad. Audiol.* 22, 460–468 (2011).
79. Fina, M. *et al.* Vestibular dysfunction after cochlear implantation. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 24, 234–242; discussion 242 (2003).
80. Golub, J. S. *et al.* Prosthetic implantation of the human vestibular system. *Otol. Neurotol. Off. Publ. Am. Otol. Soc. Am. Neurotol. Soc. Eur. Acad. Otol. Neurotol.* 35, 136–147 (2014).
81. Szirmai, A., Ribári, O. & Répássy, G. Air caloric computer system application in monitoring vestibular function changes after cochlear implantation. *Otolaryngol.--Head Neck Surg. Off. J. Am. Acad. Otolaryngol.-Head Neck Surg.* 125, 631–634 (2001).

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Gabriela John, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Otolithenfunktionsstörung nach Cochlea-Implantation selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.



## **Danksagung**

Zuerst möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Privatdozent Dr. med. Ingo Todt, für die Überlassung des Themas sowie für die hervorragende Betreuung und Unterstützung während des gesamten Zeitraumes der Promotion bedanken.

Prof. Dr. med. Arneborg Ernst danke ich für die freundliche Übernahme des Koreferats.

Bei den Mitarbeiterinnen der neurootologischen Abteilung bedanke ich mich für Ihre Freundlichkeit, das Erklären der neurootologischen Versuche und die Hilfe bei der Datenerhebung.

Mein spezieller Dank geht an meinen Freund Franz Poch, der mich sowohl fachlich aber vor allem auch in technischen Computerproblemen tatkräftig unterstützte und dadurch nicht unerheblich an der Fertigstellung dieser Arbeit beteiligt ist.

Mein persönlicher Dank gilt meinen Eltern, die mich während des gesamten Studiums und bei der Anfertigung dieser Arbeit stets unterstützten und immer für mich da waren.